As evidências da evolução

O MAIOR ESPETÁCULO DA TERRA

Richard Dawkins

COMPANHIA DAS LETRAS

RICHARD DAWKINS

O Maior Espetáculo da Terra
As Evidências da Evolução

Tradução
Laura Teixeira Motta

Companhia das Letras

2009

Para Josh Timonen

Sumário

Prefácio 9

1. Apenas uma teoria? 13
2. O cão, a vaca e a couve 28
3. Sedução para apresentar a macroevolução 50
4. Relógios 87
5. Bem diante dos nossos olhos 109
6. Elo perdido? Como assim, "perdido"? 139

7. Pessoas perdidas? Foram encontradas! 175
8. Você fez isso em nove meses 199
9. A arca dos continentes 238
10. A árvore de parentesco 268
11. A história escrita em todo o nosso corpo 317
12. Corridas armamentistas e teodiceia evolucionária 350
13. Há grandeza nessa visão da vida 371

Apêndice — Os negadores da história 397

Prefácio

As evidências da evolução aumentam a cada dia e nunca foram tão eloquentes. Ao mesmo tempo, paradoxalmente, a oposição mal-informada também é hoje a mais forte de que me recordo. Este livro é meu resumo pessoal das evidências de que a "teoria" da evolução é na verdade um fato — um fato incontestável como qualquer outro da ciência. Este não é o primeiro livro que escrevo sobre a evolução, e preciso explicar o que ele tem de diferente. Ele pode ser considerado o meu elo perdido. O *gene egoísta* e *The extended phenotype* apresentaram uma visão incomum da bem conhecida teoria da seleção natural, mas não analisaram as evidências da evolução propriamente ditas. Meus três livros seguintes procuraram, cada um a seu modo, identificar e

derrubar as principais barreiras ao entendimento. Essas três obras, *O relojoeiro cego, O rio que saía do Éden* e *A escalada do monte Improvável* (das três a minha favorita), deram uma resposta a questões como "De que serve metade de um olho?", "Para que serve meia asa?", "Como a seleção natural pode atuar se a maioria das mutações tem efeitos negativos?". No entanto, embora tirassem pedras do caminho, eles também não apresentaram as evidências em si de que a evolução é um fato. Meu livro mais vasto, *A grande história da evolução,* descreve todo o trajeto percorrido pela história da vida na forma de uma peregrinação em estilo chauceriano: uma volta ao passado em busca dos nossos ancestrais. Mas também ele pressupõe o fato da evolução.

Reexaminando esses livros, me dei conta de que as evidências da evolução não foram explicitadas e de que essa era uma grave lacuna que eu precisava eliminar. O ano de 2009, bicentenário do nascimento de Darwin e sesquicentenário de *A origem das espécies,* pareceu-me um bom momento. Não é de surpreender que essa mesma ideia tenha ocorrido a outros autores, e com isso excelentes obras vieram à público neste ano, com destaque para *Why evolution is true,* de Jerry Coyne. Minha resenha favorita desse livro, publicada no *Times Literary Supplement,* é reproduzida em http://richarddawkins.net/article,3594, Heat-the-Hornet,Richard-Dawkins.

O título provisório com que meu agente literário, o visionário e incansável John Brockman, ofereceu

meu livro aos editores foi *Apenas uma teoria.* Descobriu-se depois que Kenneth Miller já usara esse título para o livro que foi sua réplica a um daqueles notáveis julgamentos que ocasionalmente decidem o destino do ensino da ciência (um julgamento no qual ele desempenhou papel heróico). De qualquer modo, eu duvidava mesmo de que esse título fosse adequado para meu livro e prontamente o deixei de lado quando descobri que o título perfeito estivera à espreita todo aquele tempo. Alguns anos atrás um simpatizante anônimo mandou-me uma camiseta com um lema em tom meio circense: "Evolução: única na vida. O maior espetáculo da Terra". De vez em quando eu a uso em minhas conferências com esse título, e de repente me ocorreu que ele era ideal para este livro, ainda que longo demais se fosse usado na íntegra. Abreviei-o então para "O maior espetáculo da Terra". A frase "Apenas uma teoria", com um ponto de interrogação para me precaver contra os deturpadores de citações, serviria bem para o título do capítulo 1.

Muitas pessoas me ajudaram de vários modos, entre elas Michael Yudkin, Richard Lenski, George Oster, Caroline Pond, Henri D. Grissino-Mayer, Jonathan Hodgkin, Matt Ridley, Peter Holland, Walter Joyce, Yan Wong, Will Atkinson, Latha Menon, Christopher Graham, Paula Kirby, Lisa Bauer, Owen Selly, Victor Flynn, Karen Owens, John Endler, Iain Douglas-Hamilton, Sheila Lee, Phil Lord, Christine DeBlase e Rand Russell. Sally Gaminara e Hilary Redmon, com sua equipe na

Grã-Bretanha e nos Estados Unidos, respectivamente, foram muito solícitas e competentes. Em três ocasiões durante as etapas finais da produção do livro, novas e fascinantes descobertas foram relatadas em publicações científicas. Em todas elas perguntei timidamente se seria possível violar a organização dos complexos procedimentos editoriais para inserir o novo achado. E em todas essas ocasiões, longe de resmungar contra essas perturbadoras alterações de última hora, como faria qualquer profissional normal da área editorial, Sally e Hillary receberam a sugestão com animação e moveram montanhas para viabilizá-la. Contei com igual entusiasmo e presteza de Cillian Somerscales, que cuidou da editoração de texto e paginação com inteligência e sensibilidade de literato.

Minha mulher, Laila Ward, mais uma vez apoiou-me com inquebrantável incentivo, úteis recomendações estilísticas e sugestões caracteristicamente elegantes. O livro foi concebido e iniciado durante meus últimos meses na cátedra que tem o nome de Charles Simonyi, e concluído depois que me aposentei. Em minha despedida como titular dessa cadeira, catorze anos e sete livros depois do nosso fundamental primeiro encontro, quero mais uma vez expressar meu gratíssimo apreço por Charles. Laila compartilha comigo o desejo de que nossa amizade prossiga por longo tempo.

Este livro é dedicado a Josh Timonen, com meus agradecimentos a ele e ao pequeno e dedicado grupo que originalmente o ajudou na criação do

site RichardDawkins.net. Josh é conhecido na internet como um inspirado *designer* de sites, mas essa é apenas a ponta de um impressionante *iceberg.* O talento criativo de Joseph é profundo, mas a imagem do *iceberg* não capta a versátil abrangência de suas contribuições para nosso empreendimento conjunto nem o caloroso bom humor que ele imprime ao trabalho.

1. Apenas uma teoria?

Imagine que você é um professor de história romana e de latim, ávido por transmitir seu entusiasmo pelo mundo antigo — as elegias de Ovídio e as odes de Horácio, a enxuta gramática latina exibida na oratória de Cícero, a refinada estratégia das Guerras Púnicas, a talentosa liderança bélica de Júlio César e os excessos voluptuosos dos últimos imperadores. É uma grande empreitada que requer tempo, concentração e dedicação. Mas continuamente você vê seu precioso tempo predado e a atenção de sua classe desviada por uma ululante matilha de *ignoramuses* (pois como especialista em latim você jamais cometeria o erro de dizer "*ignorami*") que, com forte apoio político e especialmente financeiro, ronda sem tréguas, tentando persuadir seus desafortunados alunos de que os romanos nunca existiram. Nunca houve um Império Romano. O mundo todo surgiu pouco antes das gerações hoje vivas. Espanhol, italiano, francês, português, catalão, ocitano, romanche, todas essas línguas e seus dialetos componentes brotaram de maneira espontânea e separadamente e

nada devem a alguma língua predecessora, como esse tal de latim. E você, em vez de dedicar toda a sua atenção à nobre vocação de estudioso e professor dos clássicos, é forçado a gastar seu tempo e energia na retaguarda, defendendo a proposição de que os romanos existiram, sim, senhor: uma defesa contra uma exibição de preconceito ignorante que faria você chorar se não estivesse tão ocupado combatendo-a.

Se minha fantasia do professor de civilização latina parece estapafúrdia demais, vejamos um exemplo um pouco mais realista. Imagine que você é um professor especializado em história mais recente e que suas aulas sobre a Europa no século XX são boicotadas, tolhidas ou perturbadas de outras maneiras por grupos bem organizados, generosamente financiados e politicamente fortes de negadores do Holocausto. Ao contrário dos meus hipotéticos negadores de Roma, os negadores do Holocausto existem mesmo. São vociferantes, superficialmente plausíveis e sabem afetar erudição como poucos. Eles contam com o apoio do presidente de no mínimo um país atualmente poderoso, e em suas fileiras milita no mínimo um bispo da Igreja Católica Romana. Imagine que, como professor de história europeia, você continuamente se vê intimado a "ensinar a controvérsia" e conceder "igual tempo" à "teoria alternativa" de que o Holocausto nunca aconteceu e que foi inventado por um bando de sionistas embusteiros. Intelectuais adeptos da moda relativista entram no coro, bradando que não existe verdade absoluta: se o Holocausto

aconteceu ou não é uma questão de crença pessoal, todos os pontos de vista são igualmente válidos e devem ser imparcialmente "respeitados".
Os apuros de muitos professores de ciências atualmente não são menos terríveis. Quando tentam explicar o princípio central e norteador da biologia, quando honestamente situam o mundo vivo em seu contexto histórico — o que significa evolução —, quando exploram e explicam a própria natureza da vida, eles são acossados e barrados, aparteados, intimidados e até ameaçados com a perda do emprego. Na melhor das hipóteses, o tempo deles é desperdiçado a cada esforço. Muitos recebem cartas ameaçadoras de seus próprios pais e têm de suportar as risadinhas sarcásticas e os braços cruzados de crianças que sofreram lavagem cerebral. Os livros didáticos que lhes são fornecidos, sancionados pelo governo, têm a palavra "evolução" sistematicamente obliterada ou abastardada para "mudança ao longo do tempo". Já houve uma época em que tentávamos ridicularizar isso tudo como um fenômeno singularmente americano. Mas hoje os professores britânicos e europeus continentais enfrentam os mesmos problemas, em parte por causa da influência americana, porém, mais significativamente, em razão da crescente presença islâmica nas salas de aula — favorecida pelo comprometimento oficial com o "multiculturalismo" e pelo terror de serem considerados racistas.
Muitos afirmam, corretamente, que clérigos e teólogos mais graduados não têm nada contra a

evolução e que vários deles inclusive apóiam ativamente os cientistas nessa questão. Isso é verdade em muitos casos, como sei graças à agradável experiência de trabalhar em colaboração com o então bispo de Oxford, hoje lorde Harries, em duas ocasiões. Em 2004 escrevemos em coauto-ria um artigo para o *Sunday Times* que se encerrava com as palavras: "Hoje nada há para debater. A evolução é um fato e, da perspectiva cristã, uma das maiores obras de Deus". Esta última frase foi escrita por Richard Harries, mas nós dois concordamos quanto a todo o resto do artigo. Dois anos antes, o bispo Harries e eu organizamos uma carta conjunta ao então primeiro-ministro Tony Blair com os dizeres:

Excelentísismo Senhor Primeiro-Ministro,

Escrevemos como um grupo de cientistas e bispos para expressar nossa preocupação com o ensino da ciência no Emmanuel City Technology College em Gateshead.
A evolução é uma teoria científica de grande poder explicativo, capaz de esclarecer uma ampla gama de fenômenos em diversas disciplinas. Pode ser desenvolvida, confirmada e até radicalmente alterada levando-se em conta as evidências. Ela não é, como afirmam porta-vozes da mencionada faculdade, uma "posição de fé" da mesma categoria que a explicação bíblica da criação, que tem diferente função e propósito.
Essa questão não se limita ao que atualmente é ensinado em uma faculdade. É crescente a

apreensão quanto ao que vai ser ensinado e como será ensinado na nova geração desses estabelecimentos que se intitulam escolas de fé. Acreditamos que os currículos de tais escolas, assim como o do Emmanuel City Technology College, precisam ser rigorosamente monitorados a fim de que as respectivas disciplinas da ciência e dos estudos religiosos sejam adequadamente respeitadas.

Atenciosamente,

Rt *Revd Richard Harries, bispo de Oxford*
Sir David Attenborough FRS [Fellow of the Royal Society]
Rt Rev. Christopher Herbert, bispo de St Albans
Lord May of Oxford, presidente da Royal Society
Professor John Enderby FRS, secretário de física, Royal Society
Rt Revd John Oliver, bispo de Hereford
Rt Revd Mark Santher, bispo de Birmingham
Sir Neil Chalmers, diretor, Natural History Museum
Rt Revd Thomas Butler, bispo de Southwark
Sir Martin Rees, FRS, astrônomo real
Rt Revd Kenneth Stevenson, bispo de Portsmouth
Professor Patrick Bateson FRS, secretário de biologia, Royal Society
Rt Revd Crispian Hollis, bispo da igreja católica romana de Portsmouth
Sir Richard Southwood, FRS
Sir Francis Graham-Smith FRS, secretário de física do passado, Royal Society
Professor Richard Dawkins FRS.

O bispo Harris e eu organizamos essa carta às pressas. Pelo que me lembro, os signatários da carta constituíam 100% das pessoas que procuramos. Não houve discordância nem de cientistas nem de bispos.

O arcebispo de Canterbury não tinha nada contra a evolução, e tampouco o papa (com exceção, talvez, da hesitação quanto à exata conjuntura paleontológica em que a alma humana foi insuflada), assim como padres instruídos e professores de teologia. Este é um livro sobre as evidências incontestáveis de que a evolução é um fato. Não tem por fim ser um livro anti-religioso. Já fiz um desses, este tem outra finalidade e não é o lugar de bater na mesma tecla. Os bispos e teólogos que analisaram as evidências da evolução desistiram de lutar contra ela. Alguns podem desistir relutantemente; outros, como Richard Harries, com entusiasmo, mas todos, com exceção dos lamentavelmente desinformados, são forçados a aceitar o fato da evolução. Podem pensar que Deus deu uma mãozinha começando todo o processo e que talvez não se tenha abstido de guiar o progresso futuro. Provavelmente pensam que Deus deu a partida no universo e solenizou seu nascimento com um harmonioso conjunto de leis e constantes físicas calculadas para atender algum propósito insondável no qual nós por fim teríamos um papel. Porém, relutantes alguns, satisfeitos outros, religiosos e religiosas ponderados e racionais aceitaram as evidências da evolução.

O que não devemos comodamente supor é que, se os bispos e clérigos instruídos aceitam a evolução, suas congregações também aceitam. Infelizmente, como registrei no apêndice deste livro, pesquisas de opinião testemunham fartamente o contrário. Mais de 40% dos americanos negam que o ser humano evoluiu de outros animais e pensam que nós — e por implicação todos os seres vivos — fomos criados por Deus nestes últimos 10 mil anos. Essa porcentagem não é tão alta na Grã-Bretanha, mas ainda é preocupantemente elevada. E deveria ser tão inquietante para as igrejas quanto é para os cientistas. Este livro é necessário. Usarei o termo "negadores da história" para me referir aos que negam a evolução: as pessoas que acreditam que a idade do mundo mede-se em milhares e não em milhares de milhões de anos e que acreditam que humanos conviveram com dinossauros — repito: essas pessoas constituem mais de 40% da população americana. A respectiva porcentagem é maior em alguns países, menor em outros, mas 40% é uma boa média, e de quando em quando me referirei aos negadores da história como "os 40%".

"Ainda afirmo que é apenas uma teoria."

Voltando aos bispos e teólogos esclarecidos, seria ótimo se eles se esforçassem um pouco mais para combater a insensatez anticientífica que deploram. Inúmeros pregadores, embora concordem que a evolução é verdade e que Adão e Eva nunca existiram, mesmo assim sobem ao púlpito e com a maior tranquilidade apresentam argumentos teológicos sobre Adão e Eva em seus sermões, evidentemente sem mencionar uma vez sequer que Adão e Eva não existiram na realidade! Se interpelados, respondem que tinham em mente um significado puramente "simbólico", talvez relacionado ao "pecado original" ou às virtudes da inocência. E talvez acrescentem com sarcasmo que obviamente ninguém seria tão tolo a ponto de interpretar aquelas palavras ao pé da letra. Mas será que suas congregações sabem disso? Como é que as pessoas nos bancos da igreja, ou nos tapetes de oração, podem saber que partes das Escrituras devem ser interpretadas literalmente e

outras partes, simbolicamente? É mesmo assim tão fácil para um fiel sem instrução adivinhar? Em muitíssimos casos, a resposta claramente é não, e qualquer um pode ser perdoado por sentir-se confuso. Se o leitor não acredita em mim, dê uma olhada no Apêndice.

Pense nisso, bispo. Tenha cuidado, vigário. Vocês estão brincando com dinamite, descuidando-se com uma disputa que está prestes a acontecer — até podemos dizer que vai acontecer fatalmente se não for prevenida. Não deveriam ter mais cautela, quando falam em público, para que antes seja o vosso sim, sim, e o vosso não, não? Para não cairdes em juízo, não deveríeis desdobrar-vos para combater esse já extremamente difundido equívoco popular e apoiar ativa e entusiasticamente os cientistas e os professores de ciência?

Os próprios negadores da história estão entre os que desejo alcançar com este livro. Talvez mais importante, porém, seja que almejo armar as pessoas que não são negadoras da história, mas conhecem quem o seja — talvez membros de sua família ou de sua igreja — e estão despreparadas para argumentar em defesa de suas idéias.

A evolução é um fato. Além de qualquer dúvida razoável, além de qualquer dúvida séria, além da dúvida sã, bem informada, inteligente, além de qualquer dúvida, a evolução é um fato. As evidências da evolução são no mínimo tão fortes quanto às do Holocausto, mesmo levando em conta as testemunhas oculares deste último fato. É a pura verdade que somos primos do chimpanzé,

primos um pouco mais distantes dos macacos, ainda mais distantes do porco-da-terra e do peixe-boi, mais distantes ainda das bananas e dos nabos... uma lista que podemos continuar até onde desejarmos. Isso não precisava ser verdade. Não é uma verdade evidente, tautológica, óbvia, e houve um tempo em que a maioria das pessoas, inclusive as instruídas, pensava que não fosse. Não tinha de ser verdade, mas é. Sabemos disso porque é atestado por uma crescente enxurrada de evidências. A evolução é um fato, e este livro o demonstrará. Nenhum cientista que se preze o contesta, e nenhum leitor imparcial fechará o livro duvidando disso.

Por que então dizemos "*teoria* da evolução de Darwin" se isso parece dar um espúrio alento aos que têm uma convicção criacionista — os negadores da história, os 40% —, levando-os a julgar que a palavra "teoria" é uma concessão, entregando-lhes algum tipo de presente ou vitória?

O QUE É UMA TEORIA? O QUE É UM FATO?

Apenas uma teoria? Vejamos o que significa "teoria". No *Oxford English dictionary* [doravante abreviado como *OED]* encontramos duas definições (mais de duas, na verdade, mas essas são as que importam aqui).

Teoria, acepção 1: Conjunto ou sistema de ideias ou afirmações apresentado como explicação ou justificativa de um grupo de fatos ou fenômenos; hipótese que foi confirmada ou estabelecida por

observação ou experimentação e é proposta ou aceita como explicação para os fatos conhecidos; declaração do que se considera como as leis, princípios ou causas gerais de algo conhecido ou observado.

Teoria, acepção 2: Hipótese proposta como explicação; por conseguinte, mera hipótese, especulação, conjectura; idéia ou conjunto de idéias a respeito de alguma coisa; opinião ou idéia individual.

Obviamente os dois significados são muito diferentes um do outro. E a resposta breve à minha pergunta sobre a teoria da evolução é que os cientistas usam a acepção 1, enquanto os criacionistas — talvez por malícia, talvez com sinceridade — optam pela acepção 2. Um bom exemplo da acepção 1 é a teoria heliocêntrica do sistema solar, segundo a qual a Terra e os demais planetas orbitam o Sol. A evolução condiz perfeitamente com a acepção 1. A teoria da evolução de Darwin é realmente "um conjunto ou sistema de ideias ou afirmações". Ela efetivamente explica um imenso "grupo de fatos ou fenômenos". É uma "hipótese que foi confirmada ou estabelecida por observação ou experimentação" e, por consenso de todos os bem informados, é uma "declaração do que se considera como as leis, princípios ou causas gerais de algo conhecido ou observado". Certamente está muito longe de ser "mera hipótese, especulação, conjectura". Cientistas e criacionistas interpretam o termo

"teoria" em duas acepções bem distintas. A evolução é uma teoria no mesmo sentido que a teoria heliocêntrica. Em nenhum dos casos a palavra "apenas" deve ser usada, como em "apenas uma teoria".

Quanto à afirmação de que a evolução nunca foi "provada", provar é uma idéia que os cientistas foram intimidados a ver com desconfiança. Filósofos influentes nos dizem que não podemos provar coisa alguma em ciência. Os matemáticos podem provar coisas — segundo uma visão estrita, são os únicos que podem. Já os cientistas o máximo que podem fazer é não conseguir refutar algo mostrando que se esforçaram o máximo para contestá-lo. Até a indisputada teoria de que a Lua é menor do que o Sol não pode, pelos critérios de certo tipo de filósofo, ser provada do mesmo modo que, por exemplo, o teorema de Pitágoras. Mas alentadas acreções de evidências corroboram-na tão acentuadamente que negar-lhe a condição de "fato" parece ridículo a todos com exceção dos pedantes. O mesmo se aplica à teoria da evolução. A evolução é um fato no mesmo sentido que Paris situar-se no Hemisfério Norte é um fato. Embora os trinchadores da lógica governem a cidade, algumas teorias estão além da dúvida sensata, e nós as chamamos de fatos. Quanto mais empenho e meticulosidade são aplicados para refutar uma teoria, mais ela se aproxima do que o senso comum se satisfaz em chamar de fato quando sobrevive ao ataque.

Eu poderia continuar usando "teoria na acepção 1" e "teoria na acepção 2", mas é difícil memorizar

números. Preciso de palavras para substituir esses dois termos. Já temos uma boa palavra para designar a "teoria na acepção 2": hipótese. Todos entendem que uma hipótese é uma idéia não definitiva, aguardando confirmação (ou refutação), e é precisamente desse caráter provisório que a evolução agora se livrou, embora na época de Darwin ainda se visse onerada por ele. Já a "teoria na acepção 1" é mais difícil. Seria uma tranquilidade simplesmente continuar a usar o termo "teoria", como se a "acepção 2" não existisse. Aliás, há bons argumentos para dizermos que a acepção 2 não deveria sequer existir, pois é desnorteante e desnecessária, dado que temos "hipótese". Mas infelizmente a acepção 2 de "teoria" é de uso comum, e não podemos bani-la por decreto. Assim sendo, tomarei a considerável, porém perdoável, liberdade de emprestar da matemática a palavra "teorema" para a acepção 1. Na verdade, é um mau empréstimo, como veremos, mas a meu ver o risco de confusão é suplantado pelos benefícios. Para apaziguar matemáticos injuriados, em nome da exatidão grafarei o termo entre aspas. Primeiro, explicarei o uso estrito na matemática para a palavra teorema, e ao mesmo tempo esclarecerei minha afirmação anterior de que, rigorosamente falando, apenas os matemáticos têm licença para *provar* alguma coisa (os advogados não têm, apesar de bem remuneradas pretensões).

Para um matemático, prova é uma demonstração lógica de que uma conclusão necessariamente decorre de axiomas pressupostos. O teorema de

Pitágoras é necessariamente verdadeiro, com a condição de que tenhamos por pressuposto os axiomas euclidianos, como aquele segundo o qual linhas retas paralelas nunca se encontram. Perde seu tempo quem ficar medindo milhares de triângulos retos na tentativa de encontrar um que refute o teorema de Pitágoras. Os pitagóricos o provaram, qualquer pessoa pode fazer a prova, ele é verdadeiro e ponto final. Os matemáticos usam a ideia de prova para fazer a distinção entre uma "conjectura" e um "teorema", o que tem uma semelhança superficial com a distinção do *OED* entre os dois sentidos de "teoria". Conjectura é uma proposição que parece ser verdadeira mas nunca foi provada. Ela se tornará um teorema quando a provarem. Um exemplo famoso é a Conjectura de Goldbach, segundo a qual qualquer número inteiro par pode ser expresso como a soma de dois números primos. Matemáticos não conseguiram refutá-la para todos os números pares até 300, e o senso comum estaria disposto a chamá-lo Fato de Goldbach. Não obstante, ela não foi provada, apesar dos lucrativos prêmios oferecidos a quem conseguisse a façanha, e os matemáticos justificadamente se recusam a colocá-la no pedestal reservado aos teoremas. Se um dia alguém descobrir a prova, ela será promovida de Conjectura de Goldbach a Teorema de Goldbach, ou talvez a Teorema de X, sendo X o esperto matemático que atinou com a prova.
Carl Sagan fez um uso sarcástico da Conjectura de Goldbach em sua réplica aos que lhe afirmaram ter sido abduzidos por seres extraterrestres.

De vez em quando recebo carta de alguém que está em "contato" com extraterrestres. Sou convidado a "lhes fazer qualquer pergunta". E assim, com o passar dos anos, acabei preparando uma pequena lista de questões. Os extraterrestres são muito avançados, lembrem-se. Por isso faço perguntas como: "Por favor, dê uma prova breve do último teorema de Fermat". Ou a conjectura de Goldbach. [...] Nunca recebo resposta. Por outro lado, se pergunto coisas como "Deveríamos ser bons?", quase sempre obtenho uma resposta. Esses alienígenas sentem-se extremamente felizes em responder qualquer questão vaga, especialmente envolvendo juízos morais convencionais. Mas acerca de qualquer problema específico, em que há uma chance de descobrir se eles realmente sabem algo mais do que a maioria dos humanos, há apenas silêncio.

O Último Teorema de Fermat, como a Conjectura de Goldbach, é uma proposição sobre números para a qual ninguém encontrou exceção. Prová-lo foi uma espécie de Santo Graal para os matemáticos desde os idos de 1637, quando Pierre de Fermat escreveu na margem de um antigo livro de matemática: "Tenho uma prova verdadeiramente maravilhosa... que esta margem é estreita demais para conter". A prova finalmente foi apresentada pelo matemático inglês Andrew Wiles em 1995. Antes disso, alguns matemáticos consideram que a proposição devia ser chamada de conjectura. Dadas a grande extensão e

complexidade da prova desenvolvida por Wiles e levando em conta que ele recorreu a avançados métodos e conhecimentos do século XX, a maioria dos matemáticos acha que Fermat estava (honestamente) equivocado quando afirmou ter a prova. Conto essa história apenas para ilustrar a diferença entre conjectura e teorema.
Como já disse, emprestarei dos matemáticos o termo teorema, mas em nome da exatidão eu o grafarei entre aspas para diferenciá-lo de um teorema matemático. Um "teorema" científico como a evolução ou o heliocentrismo é uma teoria que condiz com a "acepção 1" do dicionário Oxford.

[...] foi confirmada ou estabelecida por observação ou experimentação e é proposta ou aceita como explicação para os fatos conhecidos; [é uma] declaração do que se considera como as leis, princípios ou causas gerais de algo conhecido ou observado.

Um "teorema" científico não foi — não pode ser — provado do mesmo modo que é possível provar um teorema matemático. Mas o senso comum trata-o como um fato no mesmo sentido em que a "teoria" de que a Terra é redonda e não plana é um fato, e que a teoria de que as plantas verdes obtêm energia do Sol é um fato. Todos esses são "teoremas" científicos: corroborados por imensas quantidades de evidências, aceitos por todos os observadores bem informados, fatos indisputados no sentido comum da palavra. Como ocorre com

todos os fatos, se quisermos ser pedantes, é inegavelmente possível que nossos instrumentos medidores e os órgãos dos sentidos com os quais os lemos sejam vítimas de um gigantesco engano coletivo. Como disse Bertrand Russell, "Pode ser que tenhamos passado a existir há cinco minutos, já providos de memórias prontas, buracos nas meias e cabelos pedindo um corte". Diante das evidências hoje disponíveis, para que a evolução fosse qualquer outra coisa exceto um fato seria preciso um logro coletivo semelhante por parte do criador, algo em que poucos teístas desejariam acreditar.
Chegou o momento de examinarmos a definição de "fato" no dicionário. Eis o que o *OED* tem a dizer (novamente há várias definições, mas esta é a relevante):

Fato: Algo que realmente ocorreu ou é verdadeiro; algo que se sabe com certeza ter esse caráter; portanto, uma verdade específica conhecida por observação efetiva ou testemunho autêntico, em contraste com o que é meramente inferido ou com uma conjectura ou ficção. Um dado da experiência, distinto das conclusões que podem ser nele baseadas.

Note que, como um "teorema", um fato, nessa acepção, não tem o mesmo status rigoroso de um teorema matemático provado, que decorre inescapavelmente de um conjunto de axiomas pressupostos. Além disso, a "observação efetiva ou testemunho autêntico" podem ser

horrivelmente falíveis, e são superestimados nos tribunais. Experimentos psicológicos deram-nos espantosas demonstrações que deveriam preocupar qualquer jurista inclinado a dar um peso superior ao depoimento de uma "testemunha ocular". Um célebre exemplo foi preparado pelo professor Daniel J. Simons, da Universidade de Illinois. Meia dúzia de jovens em pé e em círculo foram filmados durante 25 segundos passando duas bolas de basquete uns para os outros, e nós, os sujeitos do experimento, assistimos ao filme. Os jogadores entram e saem do círculo e trocam de lugar enquanto fazem passes e quicam a bola, por isso a cena é ativamente bem complexa. Antes de o filme nos ser mostrado, somos avisados de que lemos uma tarefa para testar nosso poder de observação. Devemos contar o número de vezes em que as bolas são passadas de uma pessoa a outra. No fim do teste, as contagens são anotadas, mas — o público nem desconfia — esse não é o verdadeiro teste!

Depois de exibir o filme e coligir as contagens, o experimentador deixa cair a bomba. "E quantos de vocês viram o gorila?" A maioria do público fica perplexa: como assim? O experimentador torna a exibir o filme, mas dessa vez diz às pessoas para assistirem despreocupadamente, sem tentar contar coisa alguma. Surpreendentemente, nove segundos depois de começado o filme, um homem vestido de gorila surge na maior tranquilidade no centro do círculo de jogadores, para e olha para a câmera, bate no peito como se beligerantemente desprezasse as evidências das testemunhas

oculares e então sai de cena com a mesma calma de antes (ver a página em cores 8). Ele fica bem à vista por nove segundos — mais de um terço do filme — e no entanto a maioria das testemunhas não o vê. Essas pessoas jurariam em tribunal que não estava presente nenhum homem vestido de gorila e que tinham assistido com uma concentração maior do que a normal durante os 25 segundos, justamente porque estavam contando os passes de bola. Muitos experimentos nessa linha foram feitos, com resultados semelhantes e com reações parecidas de descrença e pasmo quando finalmente a verdade é mostrada aos participantes. O testemunho ocular, a "observação efetiva", um "dado da experiência" — são todos, ou ao menos podem ser, irremediavelmente não confiáveis. Obviamente, é essa não confiabilidade dos observadores que os mágicos exploram no palco com suas técnicas deliberadas de distração.

A definição de "fato" no dicionário menciona "*observação efetiva* ou testemunho autêntico, em contraste com *o que é meramente inferido*'' (grifo meu). Há certa petulância na conotação pejorativa implícita nesse "meramente". A inferência cuidadosa pode ser mais confiável do que a "observação efetiva", por mais que a nossa intuição relute em admiti-lo. Eu mesmo fiquei atônito por não ter visto o gorila de Simons, e confesso que não acreditei que ele estivera realmente lá. Mais triste e mais sábio depois de ver o filme pela segunda vez, agora nunca mais serei tentado a dar ao testemunho ocular uma preferência automática sobre a inferência

científica indireta. O filme do gorila, ou algo parecido, talvez deva ser exibido a todos os jurados antes de deliberarem sobre um veredicto. E a todos os juízes também.

É bem verdade que, em última análise, a inferência tem de ser baseada na observação por nossos órgãos dos sentidos. Por exemplo, usamos os olhos para observar os dados impressos fornecidos por uma máquina que sequencia o DNA ou pelo Grande Colisor de Hádrons. Porém — apesar de todas as intuições em contrário —, a observação direta de um evento suposto (por exemplo, um assassinato) como ele realmente aconteceu não é necessariamente mais confiável do que a observação indireta de suas consequências (como o DNA numa mancha de sangue) introduzidas em uma bem construída máquina de inferir. É mais provável ocorrer um erro de identidade decorrente de testemunho ocular direto do que de inferência indireta baseada em dados de DNA. Aliás, é deploravelmente longa a lista de pessoas que foram condenadas injustamente com base em testemunho ocular e depois libertadas — algumas após muitos anos — graças a novas evidências de DNA. Só no Texas, 35 pessoas condenadas foram absolvidas depois que as evidências de DNA tornaram-se admissíveis nos tribunais. E estamos falando só em gente que ainda está viva. Considerando o empenho do Texas em aplicar a pena de morte (nos seis anos em que foi governador, George W. Bush assinou em média uma ordem de execução por quinzena), não podemos deixar de supor que um substancial

número de pessoas executadas teria sido absolvido se pudesse ter contado com as evidências do DNA.

Este livro levará a inferência a sério — não a *mera* inferência, mas a inferência científica apropriada —, e mostrarei o irrefragável poder da inferência de que a evolução é um fato. Obviamente, a imensa maioria da mudança evolucionária é invisível para a observação ocular direta. A maior parte dessa mudança ocorreu antes de nascermos, e, além disso, é geralmente lenta demais para ser vista durante a vida de um indivíduo. O mesmo se aplica ao incessante distanciamento entre a África e a América do Sul, que, como veremos no capítulo 9, ocorre com demasiada lentidão para podermos notá-lo. No caso da evolução, como no da deriva continental, a inferência depois do evento é só o que temos à disposição, pela óbvia razão de que só viemos a existir depois do evento. Mas nem por um nanossegundo devemos subestimar o poder dessa inferência. A lenta separação entre a América do Sul e a África é hoje um fato estabelecido no sentido linguístico comum de "fato", e o mesmo vale para nossa descendência comum com a do porco-espinho e a da romã.

Somos como detetives que chegam à cena depois de o crime ter sido cometido. As ações do assassino desapareceram no passado. O detetive não tem nenhuma esperança de testemunhar o crime com seus próprios olhos. Pensando bem, o experimento do sujeito vestido de gorila e outros semelhantes já nos ensinaram a desconfiar dos

nossos olhos. O que o detetive *efetivamente tem* são os vestígios, e neles há muito de confiável. São as pegadas, impressões digitais (e hoje também as impressões de DNA), manchas de sangue, cartas, diários. O mundo é como o mundo deveria ser se tal e tal história, mas não outras histórias, conduzissem ao presente.

A distinção entre as duas definições dicionarizadas de "teoria" não é um abismo intransponível, como mostram muitos exemplos históricos. Na história da ciência, muitos "teoremas" nascem como "meras" hipóteses. Como ocorreu com a teoria da deriva dos continentes, pode até acontecer de uma ideia começar sua carreira atolada em ridículo e, progressivamente, em árduos passos, atingir o status de um "teorema" ou fato indisputado. Essa não é uma ideia filosófica difícil. O fato de que algumas convicções amplamente disseminadas no passado foram conclusivamente refutadas não significa que devemos recear que as futuras evidências sempre venham a contestar nossas convicções do presente. O grau de vulnerabilidade daquilo em que atualmente acreditamos depende, entre outras coisas, do quanto são fortes as evidências em seu favor. Antigamente se pensava que o Sol fosse menor do que a Terra porque as evidências disponíveis eram inadequadas. Hoje temos evidências, antes indisponíveis, que mostram conclusivamente que o Sol é muito maior, e podemos ter toda certeza de que essas evidências jamais serão desbancadas. Não se trata de uma hipótese temporária que até o momento sobreviveu à refutação. Nossas atuais

convicções a respeito de muitas coisas podem ser refutadas, mas podemos, com total confiança, fazer uma lista de fatos inquestionáveis que nunca serão desacreditados. A evolução e o heliocentrismo não constaram sempre dessa lista, mas hoje fazem parte dela.

Os biólogos costumam fazer a distinção entre *o fato* da evolução (todos os seres vivos são primos) e a *teoria* sobre o que a impele (normalmente querem dizer seleção natural, e talvez a contrastem com teorias rivais como a do "uso e desuso" e "herança de características adquiridas", de Lamarck). Mas o próprio Darwin pensava nas duas teorias no sentido provisório, hipotético, conjectural. Isso porque, em seu tempo, as evidências disponíveis eram menos eloquentes e ainda era possível a cientistas de renome contestar tanto a evolução como a seleção natural. Hoje já não é possível contestar o próprio fato da evolução — ela ascendeu à categoria de "teorema", ou fato obviamente corroborado —, mas ainda existe uma (ínfima) possibilidade de se duvidar de que a seleção natural seja seu motor principal.

Darwin explicou em sua autobiografia que, em 1838, "por entretenimento", estava lendo o *Ensaio sobre o princípio da população,* de Malthus (influenciado, desconfia Matt Ridley, por Harriet Martineau, uma amiga formidavelmente inteligente de seu irmão Erasmus), e nessa leitura ele teve a inspiração para a seleção natural: "Eis que finalmente eu tinha uma teoria na qual basear meu trabalho". Para Darwin, a

seleção natural era uma hipótese, que poderia ser certa ou errada. Ele pensava o mesmo a respeito da própria evolução. O que hoje chamamos o fato da evolução era, em 1838, uma hipótese para a qual cumpria coligir evidências. Na época em que Darwin veio a publicar *A origem das espécies,* em 1859, ele já reunira evidências suficientes para situar a própria evolução, embora não ainda a seleção natural, em um ponto bem avançado do caminho para a categoria de fato. E foi essa elevação de hipótese a fato que ocupou Darwin em boa parte de seu grandioso livro. A elevação prosseguiu até que, hoje, não existe mais dúvida sobre ela nas mentes sérias, e os cientistas falam, ao menos informalmente, no *fato* da evolução. Todos os biólogos conceituados vão além e concordam que a seleção natural é uma das mais importantes forças propulsoras da evolução, embora — como alguns biólogos insistem mais do que outros — não seja a única. Mesmo se não for a única, até agora não encontrei nenhum biólogo sério capaz de apontar uma alternativa à seleção natural como força propulsora da evolução *adaptativa* — a evolução em direção a um desenvolvimento positivo.

No resto deste livro demonstrarei que a evolução é um fato inescapável e exaltarei seu poder, simplicidade e beleza impressionantes. A evolução está dentro de nós, à nossa volta e entre nós, e suas obras estão incrustadas em rochas de eras passadas. Já que, na maioria dos casos, não vivemos o suficiente para ver a

evolução acontecer diante dos nossos olhos, retomaremos a metáfora do detetive que chega à cena do crime depois do evento e faz inferências. Os recursos para as inferências que levam os cientistas ao fato da evolução são muito mais numerosos, mais convincentes, mais incontroversos do que qualquer depoimento de testemunha ocular jamais usado em qualquer tribunal e em qualquer século para estabelecer a culpa em um crime. Prova além de qualquer dúvida razoável? Dúvida *razoável.* Essa é a expressão mais comedida de todos os tempos.

2. O cão, a vaca e a couve

Por que demorou tanto para aparecer um Darwin? O que explica a lerdeza da humanidade para atinar com essa idéia luminosamente simples que parece, superficialmente, tão mais fácil de entender do que as idéias matemáticas legadas por Newton dois séculos antes, ou mesmo que as de Arquimedes, dois milênios antes? Muitas respostas foram sugeridas. Talvez as mentes se intimidassem com a imensidão de tempo necessário para a ocorrência da mudança — com a disparidade entre o que hoje chamamos de tempo geológico profundo e o tempo de vida e a compreensão da pessoa que tentava entender. Talvez a doutrinação religiosa nos tolhesse. Ou quem sabe fosse a estarrecedora complexidade de um órgão vivo como o olho, onerada como é pela enganosa ilusão de um projeto deliberadamente elaborado por um

engenheiro magistral. Provavelmente todos esses fatores tiveram seu papel. Mas Ernst Mayr, o brilhante veterano da síntese neodarwiniana que morreu em 2005 aos cem anos, expressou repetidamente um palpite diferente. Para Mayr, a culpa foi da antiga doutrina filosófica do *essencialismo* (como hoje a chamamos). A descoberta da evolução foi refreada pela mão morta de Platão.

A MÃO MORTA DE PLATÃO

Para Platão, a "realidade" que pensamos ver são apenas sombras projetadas na parede da nossa caverna pela luz bruxuleante de uma fogueira. Como outros pensadores gregos clássicos, Platão era, no fundo, um geômetra. Cada triângulo traçado na areia é apenas uma sombra imperfeita da verdadeira *essência* do triângulo. As linhas do triângulo essencial são linhas euclidianas puras, que têm comprimento, mas não largura: linhas definidas como infinitamente estreitas e que nunca se encontram quando são paralelas. Os ângulos do triângulo essencial realmente resultam em dois ângulos retos quando somados, e nem um picossegundo de arco a mais ou a menos. Isso não se aplica ao triângulo desenhado na areia; mas este, para Platão, é apenas uma sombra instável do triângulo ideal, essencial.

A biologia, na opinião de Mayr, é estorvada por sua própria versão do essencialismo. O essencialismo biológico trata tapires e coelhos,

pangolins e dromedários como se fossem triângulos, losangos, parábolas ou dodecaedros. Os coelhos que vemos são apenas pálidas sombras da "ideia" perfeita de um coelho, do coelho platônico ideal, essencial, que paira em alguma parte do espaço conceituai junto com todas as formas perfeitas da geometria. Os coelhos de carne e osso podem variar, mas suas variações sempre devem ser vistas como desvios imperfeitos da essência ideal do coelho.

Que quadro terrivelmente antievolucionário! O platonismo considera qualquer mudança em coelhos um desarmônico afastamento do coelho essencial, e sempre haverá resistência à mudança, como se os coelhos reais estivessem amarrados por um cordão elástico invisível ao Coelho Essencial lá no Céu. A visão evolucionária da vida é radicalmente oposta. Os descendentes podem afastar-se infinitamente da forma ancestral, e cada afastamento torna-se um potencial ancestral de futuras variantes. Com efeito, Alfred Russel Wallace, o co-descobridor da evolução pela seleção natural (independentemente de Darwin), intitulou seu ensaio "Sobre a tendência das variedades a afastarem-se indefinidamente do tipo original".

Se existe um "coelho padrão", essa honra denota nada mais do que o centro da distribuição numa curva normal dos coelhos reais que correm, saltam e variam entre si. E essa distribuição muda ao longo do tempo. Com o passar das gerações, pode se gradualmente chegar a um ponto, não claramente definido, no qual o tipo

usual daquilo que chamamos de coelho terá mudado tanto que merece outro nome. Não existe uma "coelhidade" permanente, não há uma essência de coelho pairando no céu; existem apenas populações de indivíduos peludos, orelhudos, bigodudos e coprófagos para os quais encontramos uma distribuição estatística de variações em tamanho, forma, cor e propensões. O que antes era o ponto extremo na distribuição do comprimento das orelhas pode passar a ser o centro de uma nova distribuição mais adiante no tempo geológico. Dado um número suficientemente grande de gerações, pode não haver sobreposição entre as distribuições de ancestrais e descendentes: as mais longas orelhas entre os ancestrais podem ser mais curtas do que as mais curtas entre os descendentes. Tudo flui, como disse Heráclito, outro filósofo grego; nada permanece estático. Depois de 100 milhões de anos pode ser difícil acreditar que os animais descendentes um dia tiveram ancestrais coelhos. No entanto, em nenhuma geração durante o processo evolucionário o tipo predominante na população diferiu acentuadamente do tipo modal da geração anterior ou da geração seguinte. Esse modo de pensar é o que Mayr chamou de *population thinking,* ou seja, raciocinar com base na população. Para ele, pensar da perspectiva da população era a antítese do essencialismo. Segundo Mayr, a razão por que um Darwin demorou tão despropositadamente a surgir em cena foi que nós todos — quer por influência dos

gregos, quer por alguma outra razão — temos o essencialismo gravado em nosso DNA mental.
Para a mente encerrada em antolhos platônicos, um coelho é um coelho é um coelho. Aventar que a coletividade dos coelhos constitui uma espécie de nuvem móvel de médias estatísticas, ou que o coelho típico de hoje poderia ser diferente do coelho típico de 1 milhão de anos atrás ou do coelho típico de 1 milhão de anos antes ainda, parece violar um tabu interno. De fato, psicólogos que estudam o desenvolvimento da linguagem nos dizem que as crianças são essencialistas naturais. Talvez tenham mesmo de ser, para permanecerem mentalmente sãs enquanto sua mente em desenvolvimento divide as coisas em categorias separadas, cada qual com direito a um nome só seu. Não é de admirar que a primeira tarefa de Adão, no mito do Gênesis, foi dar nome a todos os animais.
E não é de admirar, na opinião de Mayr, que nós, humanos, tivéssemos de esperar pelo nosso Darwin até bem adentrado o século XIX. Para dramatizar quanto a evolução é anti-essencialista, consideremos o seguinte. Do ponto de vista evolucionário que raciocina com base na população, cada animal está ligado a qualquer outro animal — como o coelho ao leopardo, por exemplo — por uma cadeia de intermediários, cada qual tão semelhante ao seu contíguo que cada elo poderia, em princípio, cruzar com seu vizinho nessa cadeia e produzir descendentes férteis. Impossível violar o tabu essencialista de um modo mais abrangente do que esse. E não se

trata de algum experimento mental vago, confinado à imaginação. Do ponto de vista evolucionário, existe realmente uma série de animais intermediários que ligam um coelho a um leopardo, cada um dos quais teria vivido e respirado, cada um dos quais teria sido classificado exatamente na mesma espécie que seus vizinhos imediatos no longo e fluido *continuum.* De fato, nesse *continuum* cada indivíduo da série foi filho de seu vizinho de um lado e pai de seu vizinho do outro. No entanto, a série toda constitui uma ponte ininterrupta do coelho ao leopardo — embora, como veremos adiante, nunca tenha havido um "leopardelho". Há pontes semelhantes do coelho ao vombate, do leopardo à lagosta, de qualquer animal ou planta a qualquer outro ser vivo. Talvez o leitor já tenha deduzido por que esse espantoso resultado decorre necessariamente da visão de mundo evolucionária, mas deixe-me explicitá-lo mesmo assim. Eu o chamarei de experimento mental da curva de 180 graus.

Consideremos uma fêmea de coelho qualquer (por conveniência usaremos apenas fêmeas na argumentação; essa escolha é arbitrária e não faz diferença para nosso raciocínio). Ponha a mãe dela ao lado. Agora ponha a avó ao lado da mãe e assim por diante, voltando no tempo, voltando, voltando, voltando ao longo dos mega-anos, em uma linhagem aparentemente interminável de coelhas, cada qual ensanduichada entre a filha e a mãe. Andemos diante dessa linha de coelhas, regredindo no tempo, examinando-as

cuidadosamente como um general que passa a tropa em revista. Seguindo a linha, acabaremos por notar que as coelhas de tempos muito antigos pelas quais passamos são um tantinho diferentes das coelhas modernas a que estamos acostumados. Mas a taxa de mudança será tão lenta que não notaremos a tendência de geração a geração, do mesmo modo que não conseguimos ver o movimento do ponteiro das horas no relógio — e que não conseguimos ver uma criança crescer, só notando mais tarde que ela se tornou um adolescente e, mais tarde ainda, um adulto. Uma razão adicional por que não notamos a mudança nos coelhos de uma geração para outra é que, em qualquer dado século, a variação na população corrente será, normalmente, maior do que a variação entre mães e filhas. Assim, se tentarmos discernir o movimento do "ponteiro das horas" comparando mães e filhas, ou mesmo avós e netas, as ínfimas diferenças que talvez vejamos serão eclipsadas pelas diferenças entre as amigas e parentes das coelhas que saltitam pelos prados próximos.

Não obstante, de modo contínuo e imperceptível, nessa nossa jornada retrocessiva chegaremos a ancestrais que se parecem cada vez menos com um coelho e cada vez mais com um musaranho (e não são muito parecidos nem com um, nem com outro). A uma dessas criaturas chamarei de curva de 180 graus, e logo se verá por quê. Esse animal é o mais recente ancestral comum (na linha feminina, mas isso não é importante) que os coelhos têm com os leopardos. Não sabemos

exatamente como é sua aparência, mas decorre do raciocínio evolucionário que esse animal inegavelmente teve de existir. Assim como todos os animais, ele foi membro da mesma espécie que suas filhas e da mesma espécie que sua mãe. Agora prosseguimos nossa caminhada, com a diferença de que fizemos a curva de 180 graus e seguimos à frente no tempo, na direção dos leopardos (entre os muitos e diversos descendentes nesse prolongamento da curva, pois continuamente encontraremos bifurcações na linha, nas quais escolheremos sempre aquela que nos conduza por fim aos leopardos). Cada animal parecido com um musaranho ao longo da nossa caminhada à frente é agora seguido por sua filha. Lentamente, em graus imperceptíveis, os animais parecidos com o musaranho mudarão, passando por intermediários que podem não lembrar nenhum animal moderno, mas que se assemelham muito uns aos outros, talvez passando por intermediários parecidos com o arminho, até que, por fim, sem jamais notar qualquer tipo de mudança abrupta, chegamos a um leopardo.

Várias coisas devem ser ditas a respeito desse experimento mental. Primeiro, escolhemos por acaso ir do coelho ao leopardo, mas repito que poderíamos ter decidido ir do porco-espinho ao golfinho, do wallaby à girafa ou do homem ao hadoque. O importante é que, para cada dois animais, tem de haver um caminho que faz uma curva de 180 graus ligando-os, pela simples razão de que cada espécie tem um ancestral em

comum com cada uma das outras espécies; só precisamos andar retrocessivamente de uma espécie até o ancestral comum, fazer a curva de 180 graus e seguir progressivamente até chegar à outra espécie.

Segundo, note que estamos falando apenas em localizar uma cadeia de animais que ligue um animal moderno a outro animal moderno. Que fique muito bem frisado: não está ocorrendo uma *evolução* de coelho para leopardo. Suponho que o leitor poderia dizer que estamos involuindo quando fazemos o caminho de volta até a curva de 180 graus e então evoluindo quando passamos a seguir à frente depois de dobrar a curva em direção ao leopardo. Como veremos em um dos capítulos seguintes, infelizmente é necessário explicar, vezes sem conta, que espécies modernas não evoluem para outras espécies modernas. Elas apenas têm ancestrais em comum: são primas. Isso, como veremos, também é a resposta a um aparte inquietantemente comum: "Mas se os humanos evoluíram dos chimpanzés, como é que ainda existem chimpanzés no mundo?".

Terceiro, em nossa marcha à frente depois de dobrar a curva de 180 graus, escolhemos arbitrariamente o caminho que conduz ao leopardo. Esse é um caminho real da história evolucionária, mas, repetindo um lembrete importante, escolhemos desconsiderar numerosos pontos de ramificação nos quais poderíamos ter seguido a evolução rumo a incontáveis outros pontos extremos: pois o

animal na curva de 180 graus é o ancestral mais antigo não só de coelhos e leopardos, mas de uma grande fração de mamíferos modernos.

O quarto ponto, já salientado, é que, por mais radicais e grandes que sejam as diferenças entre os animais nos dois extremos do caminho que contém essa curva de 180 graus — coelho e leopardo, por exemplo —, cada passo nessa cadeia que os liga é muito, muito pequeno. Cada indivíduo ao longo da cadeia é tão semelhante a seus vizinhos quanto uma mãe e uma filha costumam ser. E é *mais* semelhante a seus vizinhos na cadeia, como também já mencionei, do que aos membros típicos da população circundante.

Podemos ver como esse experimento mental abre buracos no elegante templo grego das formas platônicas ideais. E podemos ver também que, se Mayr estiver certo e os humanos forem profundamente imbuídos de ideias essencialistas preconcebidas, ele também pode estar certo quanto à razão de historicamente considerarmos tão difícil de digerir a idéia da evolução.

A palavra "essencialismo" só veio a ser inventada em 1945, portanto não estava disponível para Darwin. Mas ele tinha grande familiaridade com a versão biológica dela, na forma da "imutabilidade das espécies", e muito se esforçou para combatê-la sob esse nome. De fato, em vários livros de Darwin — inclusive mais em outros do que em A *origem das espécies* — só podemos entender plenamente o que ele quer dizer se deixarmos de lado as pressuposições modernas

sobre a evolução e lembrarmos que grande parte do público de Darwin na época compunha-se de essencialistas que nunca duvidaram da imutabilidade das espécies. Uma das mais reveladoras armas de Darwin em sua argumentação contra essa suposta imutabilidade eram as evidências dadas pela domesticação, e esse assunto ocupará o resto do capítulo.

COMO ESCULPIR UM RESERVATÓRIO GÊNICO

Darwin sabia muito sobre a criação de animais e o cultivo de plantas. Era amigo de criadores de pombos e horticultores e adorava cães. O primeiro capítulo de *A origem das espécies* foi dedicado exclusivamente às variedades domésticas de animais e plantas, e, além disso, Darwin escreveu todo um livro sobre esse assunto, *The variation of animais and plants under domestication,* que contém capítulos sobre cães e gatos, cavalos e jumentos, porcos, bois, ovelhas e cabras, coelhos, pombos (dois capítulos para estes, que tinham lugar especial no coração de Darwin), galinhas e várias outras aves, e plantas, incluindo as fenomenais couves. As couves são uma afronta vegetal ao essencialismo e à imutabilidade das espécies. A couve selvagem, *Brassica oleracea,* é uma planta sem nada de extraordinário, vagamente parecida com uma versão silvestre da couve doméstica. Em poucos séculos, empunhando refinados ou

rústicos cinzéis fornecidos pela caixa de ferramentas das técnicas de reprodução seletiva, horticultores esculpiram essa planta trivial até obter vegetais notavelmente diferentes uns dos outros e de sua ancestral selvagem como o brócolis, a couve-flor, a couve-rábano, a couve-manteiga, a couve-de-bruxelas, o brócolis "ninja" e, é claro, os vários tipos de verdura que ainda são comumente chamados de couve.

Outro exemplo muito conhecido é a maneira como o lobo, *Canis lupus,* foi esculpido nas duzentas e tantas raças de cão, *Canis familiaris,* que são reconhecidas como distintas pelo Kennel Club do Reino Unido, e no número ainda maior de raças que vivem geneticamente isoladas umas das outras pelas regras de *apartheid* da criação de cães com *pedigree.*

A propósito, parece que o ancestral selvagem de todos os cães domésticos realmente é o lobo e só ele (embora sua domesticação possa ter ocorrido independentemente em diversas partes do mundo). Nem sempre os evolucionistas pensaram desse modo. Darwin, assim como muitos de seus contemporâneos, suspeitava que várias espécies de canídeos selvagens, entre elas os lobos e os chacais, houvessem contribuído para a linhagem dos nossos cães domésticos. Konrad Lorenz, etologista austríaco laureado com o prêmio Nobel, também pensava assim. Seu livro *Man meets dog [E o homem encontrou o cão,* em tradução publicada em Portugal], publicado em 1949, argumenta que as raças de cães domésticos dividem-se em dois grupos

principais: as derivadas do chacal (a maioria) e as derivadas do lobo (as raças favoritas de Lorenz, incluindo o chow). Lorenz aparentemente não tinha nenhum dado que comprovasse essa dicotomia, com exceção das diferenças que ele julgava ver na personalidade e nas características das raças. Essa questão permaneceu inconclusa até que evidências da genética molecular surgiram para decidi-la. Hoje não há mais dúvida. Os cães domésticos não têm nenhum chacal em sua linhagem. Todas as raças caninas são lobos modificados — nada de chacais, coiotes e raposas.

A principal idéia que desejo extrair da domesticação é seu assombroso poder de mudar a forma e o comportamento de animais selvagens e a velocidade com que ela o faz. Os criadores são quase como modeladores que dão forma a argila maleável, ou como escultores com cinzéis, esculpindo cães ou cavalos, vacas ou couves a seu bel-prazer. Retomarei essa imagem em breve. Para a evolução natural, a relevância é que, embora o agente seletor seja o homem e não a natureza, em outros aspectos o processo é exatamente o mesmo. Foi por isso que Darwin deu tanto destaque à domesticação logo no início de *A origem das espécies.* Qualquer um pode entender o princípio da evolução pela seleção artificial. A seleção natural é semelhante, com exceção apenas de um pequeno detalhe.

Rigorosamente falando, não é o corpo do cão ou da couve que é esculpido pelo criador/escultor, e sim o reservatório gênico da raça ou espécie. A

idéia do reservatório gênico *(gene pool)* é central ao conjunto de conhecimentos e teoria que se designa pelo nome de "síntese neodarwiniana". O próprio Darwin nada sabia sobre o reservatório gênico. Isso não fazia parte de seu mundo intelectual, e aliás nem mesmo os genes. Obviamente Darwin sabia que as características eram transmitidas nas famílias, que os filhos tendiam a ser parecidos com seus pais e irmãos, que determinadas características de cães e pombos eram transmitidas inalteradas aos descendentes. A hereditariedade era um sustentáculo de sua teoria da seleção natural. Mas um reservatório gênico é outra coisa. O conceito de reservatório gênico só tem significado à luz da lei de Mendel sobre o agrupamento independente das partículas hereditárias. Darwin não c onheceu as leis de Mendel, pois embora Gregor Mendel, o monge austríaco que foi o pai da genética, fosse contemporâneo de Darwin, ele publicou suas conclusões em um periódico alemão que nunca chegou às mãos de Darwin.

Um gene mendeliano é uma entidade tudo-ou-nada. Quando você foi concebido, o que recebeu de seu pai não foi uma substância para ser misturada com a que recebeu da sua mãe, como quando misturamos tinta azul com tinta vermelha para obter tinta roxa. Se a hereditariedade funcionasse assim (como as pessoas vagamente pensavam na época de Darwin), seríamos todos, uma média, um meio cantinho entre nosso pai e nossa mãe. Nesse caso, todas as variações desapareceriam rapidamente da população (por mais assiduamente que misturemos tinta roxa com tinta roxa, nunca chegaremos a reconstituir o vermelho e o azul originais). Na verdade, obviamente, qualquer pessoa pode ver muito bem que não existe tal tendência intrínseca a um decréscimo na variação na população. Mendel mostrou que isso ocorre porque quando os genes paternos e os genes maternos combinam-se em um filho (ele não usou a palavra "gene", que só seria cunhada em 1909), o resultado não é como o de misturar tintas, e sim como o de embaralhar e reembaralhar cartas. Hoje sabemos que os genes são trechos de código de DNA — não fisicamente separados como cartas de baralho, mas o princípio ainda assim é válido. Os genes não se fundem, embaralham-se. Poderíamos dizer que se embaralham mal, com grupos de cartas que permanecem juntas por várias gerações de embaralhamento antes que o acaso as separe.

Qualquer um dos nossos espermatozóides (ou óvulos, no caso das mulheres) contém uma versão de determinado gene que é a mesma versão do

gene paterno ou a mesma do gene materno, e não uma mistura das duas versões. E esse gene específico provém de um, e apenas um, dos quatro avós, e de apenas um dos oito bisavós.
Analisando agora, isso sempre deveria ter sido óbvio. Quando ocorre o cruzamento de dois indivíduos, um do sexo masculino e outro do feminino, prevemos que o descendente será um filho ou uma filha, e não um hermafrodita. Hoje ficamos pensando que qualquer um, sentado numa poltrona, poderia ter generalizado o mesmo princípio do tudo-ou-nada na herança de cada característica. É fascinante que o próprio Darwin tenha chegado muito perto de vislumbrar isso, mas parou à beira de fazer a ligação completa. Em 1866 ele escreveu em uma carta a Alfred Wallace:

Meu caro Wallace,

Creio que você não compreendeu a que me refiro quando digo que certas variedades não se fundem. Não me refiro à fertilidade. Um exemplo servirá para explicar. Cruzei ervilhas-de-cheiro Painted Lady e Purple, que são variedades de cores bem diferentes, e obtive, no mesmo pé, ambas as variedades perfeitas, mas nenhuma intermediária. Algo parecido, penso eu, deve ocorrer em princípio com as suas borboletas. [...] Embora esses casos aparentemente sejam tão admiráveis, não creio que o sejam mais do que o fato de que cada fêmea no mundo produz filhos do sexo masculino e feminino.

Darwin *por um triz* não descobriu a lei de Mendel de que os genes (como os chamamos hoje) não se fundem. O caso é análogo à afirmação, feita por vários apologistas melindrados, de que outros cientistas vitorianos, como Patrick Matthew e Edward Blyth, haviam descoberto antes de Darwin a seleção natural. Em certo sentido isso é verdade, como Darwin reconheceu, mas a meu ver as evidências mostram que eles não entenderam *quanto* essa descoberta era importante. Ao contrário de Darwin e Wallace, eles não a viram como um fenômeno *geral* com significado universal — um fenômeno com o poder de impelir a evolução de todos os seres vivos em direção a um desenvolvimento positivo. Do mesmo modo, essa carta a Wallace indica que Darwin por um triz não atinou com a noção de que não existe fusão na hereditariedade. Mas ele não percebeu a generalidade e, em particular, não a viu como a resposta ao enigma de por que a variação não desaparece automaticamente das populações. Isso ficou para cientistas do século XX, que alicerçariam seu trabalho na vanguardista descoberta de Mendel.

Agora o conceito de reservatório gênico começa a fazer sentido. Uma população com reprodução sexuada, por exemplo, todos os ratos de Ascensão, uma ilha remotamente isolada no Atlântico Sul, está continuamente embaralhando todos os genes na ilha. Não existe uma tendência intrínseca de cada geração tornar-se menos variável do que a geração anterior, nenhuma tendência a surgirem cada vez mais intermediários

tediosamente cinzentos. Os genes permanecem intactos, são embaralhados de corpo para corpo no decorrer das gerações, mas não se *misturam* uns aos outros, jamais contaminam uns aos outros. A qualquer dado momento, os genes encontram-se nos corpos dos ratos individualmente considerados ou passando para novos corpos de ratos por intermédio de espermatozóides. Mas se examinarmos um conjunto de várias gerações, veremos todos os genes de rato da ilha bem entremeados uns aos outros como se fossem cartas bem embaralhadas de um único baralho: um único reservatório gênico.

Estou supondo que o reservatório gênico dos ratos de uma ilha pequena e isolada como Ascensão é um reservatório delimitado e bem mexido, no sentido de que os ancestrais recentes de qualquer dado rato poderiam ter vivido em qualquer parte da ilha, mas provavelmente não em qualquer outra parte fora da ilha, desconsiderando-se aqui um ou outro clandestino de navio. Mas o reservatório gênico dos ratos numa grande massa de terra como a Eurásia seria muito mais complexo. Um rato que vive em Madri teria a maioria de seus genes herdada de ancestrais que viveram no lado ocidental do continente eurasiano, e não, por exemplo, na Mongólia ou na Sibéria, não por causa de barreiras específicas ao fluxo gênico (embora elas também existam), mas devido às imensas distâncias envolvidas. É preciso muito tempo para que o embaralhamento sexual leve um gene de um lado do continente ao outro.

Mesmo se não existirem barreiras físicas como rios ou cordilheiras, o fluxo gênico através dessa vastíssima massa de terra seria lento o suficiente para que o reservatório gênico fosse chamado de "viscoso". Um rato que vivesse em Vladivostock teria a maioria de seus genes herdada de ancestrais do leste. Por causa das distâncias envolvidas, o reservatório gênico eurasiano seria embaralhado, como na ilha de Ascensão, porém não homogeneamente. Além disso, barreiras parciais, como cadeias montanhosas, grandes rios ou desertos, também ficariam no caminho de um embaralhamento homogêneo, e com isso estruturariam e complicariam o reservatório gênico. Tais complicações não desvalorizam a ideia do reservatório gênico. O reservatório gênico perfeitamente revolvido é uma abstração útil, como a abstração matemática de uma linha reta perfeita. Reservatórios gênicos reais, mesmo em ilhas pequenas como a de Ascensão, são aproximações imperfeitas, apenas parcialmente embaralhadas. Quanto menor e menos interrompida por barreiras for a ilha, melhor será a semelhança com o ideal abstrato do reservatório gênico perfeitamente mexido.

Só para burilar essa idéia dos reservatórios gênicos, quero dizer que cada animal individual que vemos numa população é uma *amostra* do reservatório gênico de seu tempo (ou melhor, do tempo de seus pais). Não existe tendência intrínseca, nos reservatórios gênicos, de determinados genes aumentarem ou diminuírem de frequência. Mas quando *ocorre* um aumento ou

diminuição sistemático na frequência com que vemos determinado gene em um reservatório gênico, isso é justamente e precisamente o que significa evolução. Assim, a questão passa a ser: *por que* deveria haver um aumento ou diminuição sistemática na freqüência de um gene? É aqui, obviamente, que as coisas começam a ficar interessantes, e no devido tempo trataremos do assunto.

No reservatório gênico dos cães domésticos ocorre algo curioso. Criadores de pequineses ou dálmatas com *pedigree* esforçam-se quanto podem para impedir que genes passem de um reservatório a outro. Fazem suas anotações nos livros de *pedigree* ao longo de muitas gerações, e a miscigenação é o pior que pode acontecer no livro de um criador de cães de raça. É como se cada raça canina vivesse encarcerada em sua própria ilha de Ascensão, separada de todas as demais. Só que a barreira para a miscigenação não é de água, mas de regras humanas. Geograficamente todas as raças se encontram, mas é como se estivessem em ilhas separadas devido ao modo como seus donos policiam suas oportunidades de acasalamento. Obviamente, de vez em quando as regras são violadas. Como um rato que parte clandestinamente num navio da ilha de Ascensão, uma cadela da raça whippet, por exemplo, escapa da coleira e se acasala com um spaniel. Mas os filhotes mestiços que resultarão, por mais que possam ser amados como indivíduos, são expulsos da ilha Whippet com Pedigree. A ilha permanece puramente whippet. Outros whippets de raça pura

asseguram que o reservatório gênico da ilha virtual Whippet continue sem contaminação. Existem centenas de "ilhas" criadas por humanos para cada raça de cão com *pedigree.* Cada uma é uma ilha virtual, não tem uma localização geográfica. Whippets ou lulus-da-pomerânia com *pedigree* podem ser encontrados em vários locais no mundo, e carros, navios e aviões são usados para transportar os genes de um lugar geográfico a outro. A ilha genética virtual que é o reservatório gênico dos pequineses coincide geográfica, mas não geneticamente (exceto quando alguma cadela dá uma escapada), com a ilha genética virtual que é o reservatório gênico dos boxers e com a ilha virtual que é o reservatório gênico dos são-bernardos.

Voltemos agora à observação com a qual iniciei minha exposição sobre os reservatórios gênicos. Eu disse que se os humanos criadores de animais forem vistos como escultores, o que eles esculpem com seus cinzéis não é a carne dos cães, mas o reservatório gênico. Parece ser a carne dos cães, pois o criador pode anunciar sua intenção de, por exemplo, encurtar o focinho das futuras gerações de boxers. E o produto final desse intento realmente seria um focinho mais curto, como se o criador houvesse usado um cinzel na face do ancestral. Porém, como vimos, um boxer típico em qualquer dada geração é uma amostra do reservatório gênico contemporâneo. É o reservatório gênico que foi esculpido e entalhado ao longo dos anos. Genes para focinho comprido foram desbastados do reservatório gênico e

substituídos por genes para focinho curto. Cada raça de cão, do dachshund ao dálmata, do boxer ao borzoi, do poodle ao pequinés, do dinamarquês ao chihuahua, foi esculpida, desbastada, amassada, moldada, não literalmente em carne e osso, mas em seu reservatório gênico.

Nem tudo é obtido com escultura. Muitas das raças que nos são familiares derivam originalmente de híbridos de outras raças, e com muitas delas isso ocorreu bem recentemente, inclusive no século XIX. A hibridação obviamente representa uma violação deliberada do isolamento dos reservatórios gênicos em ilhas virtuais. Alguns projetos de hibridação são elaborados com tanto cuidado que os criadores ficariam ressentidos se chamássemos seus produtos de mestiços ou sem raça definida (como o presidente Obama simpaticamente descreveu a si mesmo). O "labradoodle" é um híbrido de labrador retriever e de um poodle tamanho *standard,* e resulta de uma busca meticulosamente arquitetada pelas melhores virtudes dessas duas raças. Donos de labradoodles têm associações e clubes registrados, exatamente como os de cães de raça pura. Há duas escolas de pensamento entre os aficionados do labradoodle e de outros híbridos deliberadamente criados: os que se contentam com continuar a produzir labradoodles cruzando poodles com labradores, e os que estão tentando iniciar um novo reservatório gênico de labradoodles no qual as características dos ascendentes se reproduzam sem variabilidade quando labradoodles cruzem entre si. Atualmente,

genes de labradoodles de segunda geração, quando recombinados, produzem mais variedade do que cães de raça pura devem apresentar. É assim que muitas raças "puras" começam: passam por um estágio intermediário de grandes variações, que são subsequentemente desbastadas no decorrer de gerações de reprodução meticulosa.

Em alguns casos, novas raças de cães têm início com a adoção de uma grande mutação. Mutações são as mudanças aleatórias em genes que constituem a matéria-prima da evolução por seleção não aleatória. Na natureza as grandes mutações raramente sobrevivem, mas os geneticistas gostam delas no laboratório, pois são fáceis de estudar. Raças de cães com pernas muito curtas, como o basset hound e o dachshund, adquiriram essa característica em um único passo com a mutação genética chamada acondroplasia. Esse é um clássico exemplo de uma grande mutação que teria pouca probabilidade de sobreviver na natureza. Uma mutação semelhante é responsável pelo tipo mais comum de nanismo em humanos: o tronco é quase do tamanho normal, mas pernas e braços são curtos. Outras rotas genéticas produzem raças em miniatura que conservam as proporções da original. Os criadores de cães obtêm mudanças no tamanho e na forma selecionando combinações de algumas grandes mutações como a acondroplasia e numerosos genes de menor impacto. E esses criadores não precisam entender de genética para ter êxito nas mudanças pretendidas. Sem nenhum

conhecimento especializado, apenas escolhendo quem cruza com quem, pode-se promover a reprodução voltada para qualquer tipo de característica desejada. Foi isso que fizeram criadores de cães, e de animais e plantas em geral, durante séculos, antes que se soubesse qualquer coisa a respeito de genética. E há nisso uma lição sobre a seleção natural, pois a natureza obviamente não tem entendimento nem noção de coisa alguma.

O zoólogo americano Raymond Coppinger chama a atenção para o fato de que, quando filhotes, os cães das diversas raças são muito mais parecidos entre si do que quando adultos. Os filhotes não podem dar-se o luxo de ser diferentes, pois seu principal afazer é mamar, uma tarefa que apresenta praticamente os mesmos desafios a todas as raças. Em especial, para mamar com eficiência o filhote não pode ter focinho comprido como o borzoi ou o retriever. É por isso que todos os filhotes se parecem com um pug. Poderíamos dizer que um pug adulto é um filhote cuja face não cresceu apropriadamente. A maioria dos cães, depois do desmame, adquire um focinho relativamente alongado. Os pugs, buldogues e pequineses, não. Eles crescem em outras partes, mas o focinho conserva as proporções infantis. O termo técnico para essa característica é *neotenia,* e tornaremos a encontrá-lo no capítulo 7, quando abordarmos a evolução humana.

Quando um animal cresce nas mesmas proporções em todas as partes de seu corpo e o adulto se torna uma réplica em maior escala do infante,

dizemos que ele cresce isometricamente. O crescimento isométrico é bem raro. No crescimento alométrico, em contraste, diferentes partes crescem em proporções distintas. Em muitos casos, as taxas de crescimento de diferentes partes de um animal apresentam alguma relação matemática simples entre si, um fenômeno que foi investigado especialmente por sir Julian Huxley nos anos 1930. Diferentes raças caninas adquirem suas formas distintas por meio de genes que mudam as relações de crescimento alométrico entre as partes do corpo. Por exemplo, os buldogues adquirem sua carranca churchilliana graças a uma tendência genética a um crescimento mais lento dos ossos nasais. Isso tem um efeito secundário sobre o crescimento relativo dos ossos próximos e até sobre todos os tecidos circundantes. Um desses efeitos secundários é o soerguimenlo do palato para uma posição inconveniente que faz os dentes do buldogue projetarem-se para fora da boca e deixa o animal propenso a babar. Os buldogues também sofrem de dificuldade para respirar, urna característica que eles têm em comum com os pequineses. Até o parto dos buldogues é difícil, pois a cabeça deles é desproporcionalmente grande. Hoje em dia a maioria dos buldogues, se não todos, nasce de parto cesáreo.

Os borzóis são o oposto. Têm focinho extra-longo. Aliás, eles se destacam porque o alongamento do focinho começa antes do nascimento, o que provavelmente torna os filhotes dessa raça menos proficientes em mamar do que os das outras

raças. Coppinger aventa que o desejo humano de obter borzóis de focinho comprido mediante a reprodução seletiva atingiu um limite imposto pela capacidade de sobrevivência dos filhotes que precisam mamar.

Que lições aprendemos com a domesticação de cães? Primeiro, a grande variedade de raças caninas — dinamarquês, yorkshire, terrier escocês, airedale, ridgeback, dachshund, whippet, são-bernardo etc. — demonstra como é fácil e rápido obter mudanças impressionantes na anatomia e no comportamento com uma seleção não aleatória de genes, "esculpindo e desbastando" os reservatórios gênicos. Os genes envolvidos podem ser surpreendentemente pouco numerosos. No entanto, as mudanças são tamanhas e as diferenças entre as raças são tão gritantes que até se poderia supor que a evolução desses novos tipos levaria milhões de anos em vez de apenas séculos. Se é possível obter mudança evolucionária em apenas alguns séculos ou mesmo décadas, imagine o que se poderia conseguir em 10 ou 100 milhões de anos.

Se analisarmos o processo ao longo de séculos, não estamos fantasiando fútilmente quando dizemos que os criadores de cães usaram a carne canina como argila moldável e a puxaram, empurraram, amassaram para dar-lhe formas mais ou menos a seu gosto. Obviamente, como já salientei, o que se modelou de fato não foi carne de cachorro, mas reservatórios gênicos. E "esculpir" é uma metáfora melhor do que "amassar". Alguns escultores empregam a técnica

de amassar pedaços de argila até dar-lhes forma. Outros pegam um pedaço de pedra ou madeira e o esculpem *subtraindo* pedaços com um cinzel. É claro que os cinófilos nao esculpem as formas desejadas em seus animais subtraindo pedaços de carne. Mas fazem algo parecido com esculpir o reservatório gênico de seus cães por subtração. Isso, porém, é mais complicado do que a pura subtração. Michelangelo subtraiu material de um único pedaço de mármore para revelar o Davi que ali se em encerrava. Nada foi acrescentado. Já os reservatórios gênicos sofrem contínuos acréscimos, por mutações, por exemplo, enquanto ao mesmo tempo mortes não aleatórias subtraem. A analogia com a escultura encontra aqui o seu limite e, como veremos no capítulo 8, não devemos abusar dela.

A idéia da escultura faz lembrar o físico mais que avantajado dos fisicultores humanos e de equivalentes não humanos como a raça de gado Belgian Blue. Essa fábrica de bifes ambulante foi arquitetada por meio de uma alteração genética específica chamada *double muscling,* duplicação da musculatura. A miostatina é uma substância que limita o crescimento muscular. Se o gene relacionado à produção da miostatina for desativado, os músculos crescem além do normal. É muito comum acontecer de um dado gene sofrer mutação em mais de um modo e produzir o mesmo resultado, e na verdade há vários modos de desativar o gene produtor da miostatina para se obter o mesmo efeito. Outros exemplos são a raça suína Black Exotic e vários cães individuais de

diversas raças que apresentam a mesma musculatura exagerada pela mesma razão. Os fisicultores humanos conseguem um físico com essas características recorrendo a um programa extremo de exercícios e, em muitos casos, a esteróides anabolizantes, e essas manipulações ambientais são, ambas, imitações do que fazem os genes do Belgian Blue e do Black Exotic. O resultado final é o mesmo, e por si só já constitui uma lição. Mudanças genéticas e ambientais podem produzir resultados idênticos. Se você quisesse criar uma criança para vencer uma competição de fisiculturismo e tivesse alguns séculos para gastar, poderia começar com a manipulação genética, engendrando exatamente o mesmo gene aberrante que caracteriza o gado Belgian Blue e os porcos da raça Black Exotic. A propósito, sabe-se que em alguns humanos ocorre a deleção do gene da miostatina, e essas pessoas tendem a ser anormalmente musculosas. Se você começasse com uma criança mutante e a submetesse a um intensivo programa de musculação (presumivelmente não é possível persuadir os bois e porcos a cooperar nesse aspecto), provavelmente obteria algo mais grotesco que o Mister Universo.

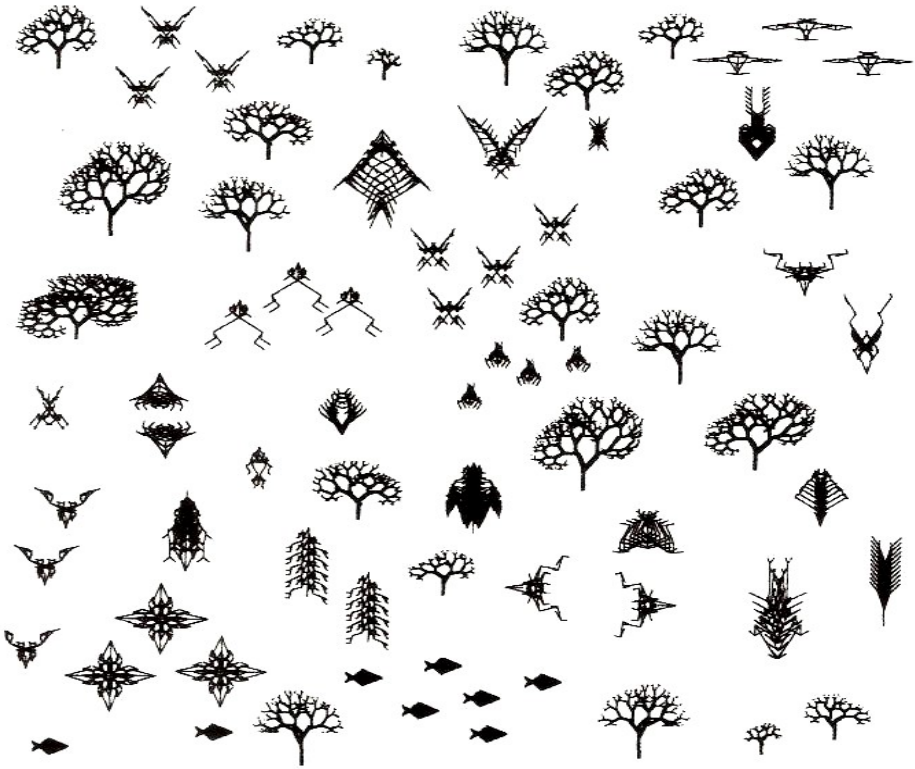
A oposição política à reprodução eugênica de humanos às vezes se empolga demais e afirma que tal reprodução é impossível, uma asserção quase certamente falsa. Além de ser imoral, não funciona, asseveram alguns. Infelizmente, afirmar que algo é moralmente errado ou politicamente indesejável não quer dizer que seja inviável. Não

tenho dúvida de que, se alguém se empe nhasse resolutamente e tivesse tempo e poder político suficientes, conseguiria criar uma raça de humanos superiores em fisiculturismo, salto em altura, arremesso de peso, pesca de pérola, sumo ou corrida de velocidade; ou (desconfio, embora com menos confiança, já que não existem precedentes animais nesta área) humanos superiores em música, poesia, matemática ou enologia. A razão de minha confiança quanto à reprodução seletiva para obter excelência atlética é que as qualidades são muito semelhantes às que demonstravelmente funcionam na reprodução de cavalos de corrida e cavalos de tração, ou na de cães de corrida e cães puxadores de trenó. E a razão de minha razoável confiança quanto à viabilidade (embora não quanto à conveniência moral ou política) da reprodução seletiva orientada para características mentais ou outras exclusiva-mente humanas é que existem pouquíssimos exemplos nos quais tenha fracassado uma tentativa de reprodução seletiva em animais, mesmo para características que poderiam ser consideradas surpreendentes. Quem imaginaria, por exemplo, que seria possível obter pela reprodução seletiva cães com habilidade para tanger rebanhos, apontar a caça ou acuar touros? Você quer vacas com alta produção de leite? Muitas vezes mais galões do que uma fêmea precisaria para criar um bezerro? A reprodução seletiva consegue isso para você. É possível modificar vacas para obter úberes imensos e desajeitados que continuem a produzir copiosas

quantidades de leite indefinidamente, muito depois do período normal de desmame de um bezerro. Por acaso ninguém tentou obter éguas leiteiras com essas características, mas quer apostar que conseguiríamos fazê-lo se tentássemos? E, naturalmente, o mesmo se aplica ao ser humano, se alguém quisesse tentar. Um sem-número de mulheres, ludibriadas pelo mito de que seios parecidos com melões são atraentes, pagam a cirurgiões vultosas quantias para que eles lhes façam implantes de silicone, com resultados nada empolgantes (eu, pelo menos, não acho que valham o dinheiro pago). Alguém duvida que, dado um número suficiente de gerações, essa mesma deformidade poderia ser obtida pela reprodução seletiva, como se fez com as vacas frísias?

Há cerca de 25 anos criei uma simulação em computador para ilustrar o poder da seleção artificial: um tipo de jogo equivalente ao cultivo de rosas, cães ou gatos premiados. O jogador vê um conjunto de nove formas na tela do computador — "biomorfos computadorizados" —, e o biomorfo do meio é “pai" dos oito circundantes. Todas as formas são construídas sob a influência de aproximadamente doze "genes", os quais são simplesmente números transmitidos de "pai" para "filho", com a possibilidade de que pequenas "mutações" intervenham durante o processo. Uma mutação é apenas um ínfimo incremento ou decréscimo no valor numérico do gene paterno. Cada forma é construída sob a influência de determinado conjunto de números, os quais são valores específicos dos doze genes. O jogador olha

para o conjunto de nove formas e não vê genes, mas escolhe a forma preferida de "corpo" a partir da qual deseja fazer a reprodução. Os outros oito biomorfos desaparecem da tela, o escolhido desliza para o centro e "gera" oito novos "filhos" mutantes. Esse processo repete-se por quantas "gerações" o jogador quiser, e a forma média dos "organismos" na tela gradualmente "evolui" com o passar das gerações. Apenas genes são transmitidos de geração a geração, e assim, escolhendo diretamente os biomorfos com seus olhos, o jogador inadvertidamente está escolhendo genes. Isso é exatamente o que acontece quando criadores escolhem cães ou rosas para reproduzir.



Biomorfos do programa "Relojoeiro Cego"

Basta de genética. O jogo começa a ficar interessante quando consideramos a "embriologia". A embriologia de um biomorfo na tela é o processo pelo qual seus "genes" — aqueles valores numéricos — influenciam sua forma. Podemos imaginar muitas embriologias bem diferentes, e eu fiz experimentos com várias delas. Meu primeiro programa, que intitulei "Relojoeiro Cego", usa uma embriologia semelhante à do crescimento de uma árvore. De um "tronco" principal brotam dois "galhos", depois de cada galho brotam dois ramos e assim por diante. O número de ramos e seus ângulos e

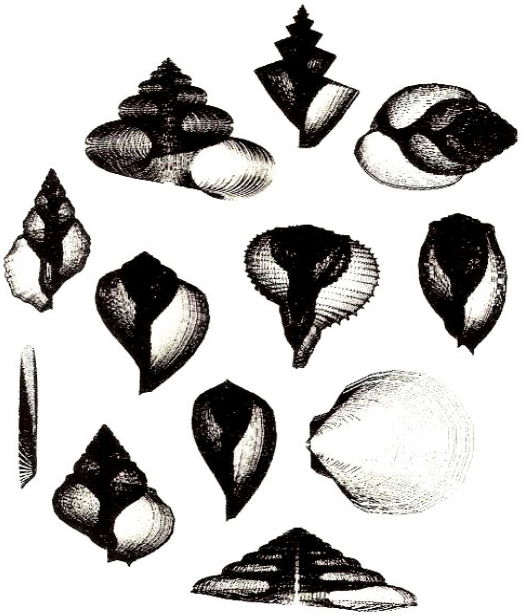
comprimentos estão lodos sob controle genético, determinados pelos valores numéricos dos genes. Uma importante característica da embriologia da árvore que se ramifica é que ela é *recursiva.* Não exporei essa ideia aqui; direi apenas que isso significa que uma única mutação tipicamente tem efeito sobre toda a árvore, e não apenas em uma parte dela.

Embora o programa Relojoeiro Cego comece com uma simples árvore que se ramifica, ela rapidamente se espraia numa profusão de formas surgidas por evolução, muitas de uma estranha beleza, e algumas — dependendo das intenções do jogador humano — que acabam por assemelhar-se a criaturas nossas conhecidas, como insetos, aranhas ou estrelas-do-mar. Na ilustração ao lado vemos um "parque safari" de criaturas que um único jogador (eu) encontrou nos meandros e rincões dessa estranha terra da fantasia computadorizada. Em uma versão posterior do programa, expandi a embriologia de modo a permitir que genes controlassem a cor e a forma dos "ramos" da árvore.

Criei um programa mais elaborado, chamado "Artromorfos", junto com Ted Kaehler, na época funcionário da empresa de computadores Apple. Esse programa incorpora uma "embriologia" com algumas características biológicas interessantes orientadas especificamente para gerar "insetos", "aranhas", "centopéias" e outras criaturas que lembram os artrópodes. Expliquei detalhadamente os artromorfos, e também os biomorfos, "conchomorfos" (moluscos de computador) e

outros programas afins em A *escalada do monte Improvável.*

A matemática da embriologia das conchas é bem compreendida; assim, a seleção artificial usando meu programa dos "conchomorfos" é capaz de gerar formas extraordinariamente semelhantes a seres vivos (ver ilustração acima). Voltarei a me referir a esses programas no capítulo final para expor uma idéia totalmente distinta. Apresentei-os aqui com o intuito de ilustrar o poder da seleção artificial, mesmo em um ambiente de computador extremamente simplificado. No mundo real da agricultura e horticultura, o mundo dos criadores de pombos ou cães, a seleção artificial pode realizar muito mais. Biomorfos, artromorfos e conchomorfos apenas ilustram o princípio, mais ou menos como a própria seleção artificial ilustrará o princípio por trás da seleção natural no próximo capítulo.



Conchomorfos: conchas geradas por computador e moldadas por seleção artificial

Darwin testemunhou pessoalmente o poder da seleção artificial, concedendo-lhe lugar de honra no capítulo 1 de A *origem das espécies,* estava preparando o espírito dos seus leitores para lhes apresentar sua monumental descoberta: o poder da seleção natural. Se os criadores humanos podem transformar um lobo num pequinés ou uma couve selvagem numa couve-flor em apenas alguns séculos ou milênios, por que a sobrevivência não aleatória de animais e plantas selvagens não poderia fazer a mesma coisa ao longo de milhões de anos? Essa será a conclusão do meu próximo capítulo; mas minha estratégia será primeiro continuar preparando o espírito do leitor para facilitar o caminho que leva à compreensão da seleção natural.

3. Sedução para apresentar a macroevolução

O capítulo 2 mostrou como o olho humano, empregando a reprodução seletiva por muitas gerações, esculpiu e moldou a carne de cães de modo a dar-lhe uma estonteante variedade de formas, cores, tamanhos e padrões de comportamento. Mas nós somos humanos, acostumados a fazer escolhas que são deliberadas e planejadas. Será que existem outros animais que fazem a mesma coisa que os criadores humanos, talvez sem deliberação ou intenção mas com resultados semelhantes? Sim, e eles levarão avante meu programa de preparação do espírito. Este capítulo dá início a uma sedução da mente passo a passo, conforme avançarmos do familiar território da reprodução e seleção artificial de cães em direção à colossal descoberta da seleção natural por Darwin, com escala em alguns pitorescos estágios intermediários. O primeiro desses passos intermediários no caminho da sedução leva ao melífero mundo das flores.

As rosas silvestres são florzinhas simpáticas, bonitinhas, mas não deslumbrantes como as variedades de rosa "peace", "lovely lady" ou "ophelia". Rosas silvestres têm um aroma delicado, inconfundível, mas não inebriante como o das variedades "memorial day", "Elizabeth Harkness" ou "fragrant cloud". O olho e o nariz humano trabalharam nas rosas silvestres: aumentaram, molda ram, duplicaram as pétalas,

tingiram, refinaram o holiío, intensificaram as lia grâncias naturais a extremos embriagantes, ajustaram hábitos de crescimento, iniciaram sofisticados programas de hibridação até que hoje, após décadas de hábil reprodução seletiva, temos centenas de variedades muito valorizadas, cada qual com seu nome evocativo ou comemorativo. Que mulher não gostaria de ter uma rosa batizada com seu nome?

INSETOS FORAM OS PRIMEIROS DOMESTICADORES

As rosas contam a mesma história que os cães, mas com uma diferença que é relevante para nossa estratégia de preparação do espírito. A flor da roseira, mesmo antes que olhos e narizes humanos iniciassem seu trabalho de escultura genética, já devia sua própria existência a milhões de anos de uma faina escultora muito semelhante posta em prática por olhos e narizes de insetos (bem, na verdade, por antenas, que são os órgãos do olfato dos insetos). E o mesmo vale para todas as flores que embelezam nossos jardins.

O girassol, *Helianthus annuus,* é uma planta da América do Norte cuja forma silvestre lembra o áster ou uma margarida graúda. Os atuais girassóis cultivados foram domesticados até que suas flores ficassem do tamanho de um prato raso. O girassol gigante, originalmente cultivado na Rússia, tem de três a cinco metros de altura, o diâmetro da cabeça é de aproximadamente trinta centímetros, mais de dez vezes o tamanho do

disco de um girassol silvestre, e normalmente cada planta tem apenas uma cabeça, em vez das mais numerosas e bem menores flores da planta silvestre. A propósito, os russos começaram a cultivar essa flor americana por motivos religiosos. Durante a Quaresma e o Advento, o uso de óleo para cozinhar era proibido pela Igreja Ortodoxa. Convenientemente, e por razões que eu, desconhecedor como sou das sutilezas da teologia, não tenho a presunção de penetrar, o óleo de semente de girassol era considerado isento da proibição. Esse fato gerou uma das pressões econômicas que impeliram a recente reprodução seletiva do girassol. Muito antes da era moderna, porém, nativos americanos cultivavam essas flores nutritivas e espetaculares para fins alimentícios, para fabricar tintas e para decoração, e obtinham resultados intermediários entre o girassol silvestre e os extravagantes extremos dos modernos cultivares. E antes ainda, como todas as flores de cores vivas, o girassol também deveu sua existência à reprodução seletiva promovida por insetos.

O mesmo ocorreu com a maioria das flores que conhecemos — provavelmente todas as que têm outra cor além do verde e algo mais do que um vago cheiro de planta. Nem todo o trabalho foi feito por insetos. Para algumas flores, os polinizadores responsáveis pela reprodução seletiva inicial foram beija-flores, morcegos e até rãs. Mas o princípio é o mesmo. As flores de jardim foram adicionalmente aprimoradas por nós, mas de início as flores silvestres com as quais

começamos o processo só chamaram nossa atenção porque insetos e outros agentes seletores haviam agido antes. Gerações de flores ancestrais foram escolhidas por gerações de insetos, beija-flores ou outros polinizadores naturais ancestrais. Esse é um ótimo exemplo de reprodução seletiva, com a diferença secundária de que os arquitetos dessa reprodução foram insetos e beija-flores em vez de humanos. Para mim, pelo menos, essa diferença é secundária. Talvez não o seja para o leitor, e nesse caso ainda será preciso mais preparação de espírito.

O que pode nos tentar a considerar isso uma diferença importante? Para começar, os humanos decidem conscientemente engendrar, por exemplo, uma rosa no tom mais negro-arroxeado que puderem, e fazem isso para satisfazer um capricho estético ou porque pensam que alguém lhes pagará por rosas assim. Os insetos não agem por motivos estéticos, e sim por... bem, aqui precisamos fazer uma digressão e examinar toda a questão das flores e sua relação com os polinizadores. Eis o contexto. Por razões que não analisarei agora, é da essência da reprodução sexuada que um indivíduo não fertiliza a si mesmo. Afinal, se ele o fizesse, não haveria necessidade de ter trabalho com a reprodução sexuada. É preciso que, de algum modo, o pólen seja transportado de uma planta a outra. Muitas plantas hermafroditas que possuem partes masculinas e femininas em uma flor desdobram-se para impedir que a metade masculina fertilize a metade feminina. O próprio Darwin estudou o

engenhoso modo como isso ocorre nas prímulas.

Pressupondo a necessidade da fertilização cruzada, como, então, as flores realizam a façanha de mover o pólen através da distância física que as separa de outras flores da mesma espécie? O modo óbvio é pelo vento, e muitas plantas usam esse recurso. O pólen é um pó fino e leve. Se for liberado em quantidade suficiente em um dia de brisa, um ou dois grãos poderão ter a sorte de aterrissar no lugar certo em uma flor da espécie certa. Mas a polinização pelo vento é desperdiçadora. É preciso fabricar um enorme excedente de pólen, como bem sabem os alérgicos atacados de febre do feno. A grande maioria dos grãos de pólen vai parar onde não é necessária, e toda aquela energia e material dispendiosos são perdidos. Existe um modo mais direto de enviar o pólen aonde ele deve chegar.

Por que as plantas não escolhem a opção animal, deslocando-se em busca de outra planta da mesma espécie para copular? Essa questão é mais difícil de responder do que o leitor poderia pensar. Simplesmente dizer que as plantas não andam é um raciocínio circular, mas infelizmente por ora teremos que aceitar isso. O fato é que plantas não andam. Mas animais, sim. E animais voam e possuem um sistema nervoso capaz de direcioná-los para alvos específicos dotados das formas e cores procuradas. Assim, se houvesse algum modo de persuadir um animal a se cobrir de pólen e depois andar, ou de preferência voar até outra planta da espécie certa...

Pois bem, a resposta não é nenhum segredo: é

exatamente isso que acontece. A história, em alguns casos, é altamente complexa, e em todos os casos, fascinante. Muitas flores subornam com alimento, em geral néctar. Talvez "suborno" seja um termo forte demais. Que tal "pagamento por serviços prestados"? Para mim qualquer um dos dois está bom, contanto que não os interpretemos nos termos humanos. O néctar é um líquido açucarado, fabricado por plantas com a finalidade específica e exclusiva de pagar e abastecer abelhas, borboletas, beija-flores, morcegos e outros transportadores contratados. Sua produção é dispendiosa, absorve uma parcela da energia solar captada pelas folhas, que são os painéis solares das plantas. Do ponto de vista das abelhas e beija-flores, o pólen é um combustível de alta energia para aeronavegação. A energia contida nos açúcares do néctar poderia ter sido usada em algum outro aspecto da economia da planta, talvez para produzir raízes ou abastecer os armazéns subterrâneos que chamamos de tubérculos, bulbos e cormos, ou mesmo para fabricar enormes quantidades de pólen a ser transmitidas aos quatro ventos. Evidentemente, para grande número de espécies vegetais o trade-off indica ser mais vantajoso pagar a insetos e aves pelo uso de suas asas e abastecer seus músculos voadores com açúcar. No entanto, essa vantagem não é avassaladora, pois algumas plantas usam a polinização pelo vento, presumivelmente porque detalhes de suas circunstâncias econômicas fazem a balança pender para essa tática. As plantas têm uma

economia energética e, como em toda economia, os trade-offs podem favorecer diferentes opções em diferentes circunstâncias. Essa, aliás, é uma importante lição na evolução. Diferentes espécies fazem as coisas de maneiras distintas, e muitas vezes não compreendemos as diferenças antes de termos examinado toda a economia da espécie.

Se a polinização pelo vento está em um extremo do continuum das técnicas de fertilização cruzada — que tal chamá-lo de extremo desperdiçador? —, o que está no outro extremo, o da "bala mágica"? Pouquíssimos são os insetos que confiavelmente voarão como uma bala mágica direto da flor onde pegaram o pólen para outra flor exatamente da espécie certa. Alguns simplesmente vão para qualquer flor, ou possivelmente para qualquer flor da cor certa, e continua a ser questão de sorte se ela por acaso será da mesma espécie que acabou de fazer seu pagamento em néctar. No entanto, existem alguns adoráveis exemplos de flores que estão bem próximas do extremo da bala mágica no continuum. Destacam-se nessa lista as orquídeas, e não é de admirar que Darwin tenha dedicado todo um livro a elas.

Tanto Darwin como o codescobridor da seleção natural, Wallace, chamaram a atenção para uma impressionante orquídea de Madagascar, Angraecum sesquipedale (veja página em cores 4), e ambos fizeram uma mesma previsão notável, que mais tarde triunfantemente se confirmou. Essa orquídea possui nectários tubulares que descem por quase onze polegadas (quase trinta centímetros), segundo a medição do próprio

Darwin. Uma espécie aparentada, Angraecum longicalcar, possui um esporão nectarífero ainda mais longo, que pode ter mais de quinze polegadas (quarenta centímetros). Darwin, puramente com base na existência da A. sesquipedale em Madagascar, predisse em seu livro de 1862 sobre orquídeas que deveriam existir "mariposas capazes de um alcance entre dez e onze polegadas". Wallace, cinco anos depois (não se sabe se ele teria lido o livro de Darwin), mencionou várias mariposas cujas probóscides eram longas quase o suficiente para comprovar essa predição.

Medi cuidadosamente a probóscide de um espécime de Macrosila cluentius da América do Sul no acervo do Museu Britânico e constatei que ela tem nove polegadas e um quarto de comprimento! Uma da África tropical (Macrosila morganii) tem sete polegadas e meia. Uma espécie com uma probóscide duas ou três vezes mais longa poderia alcançar o néctar nas maiores flores da Angraecum sesquipedale, cujos nectários variam de dez a catorze polegadas de comprimento. Pode-se predizer com segurança que existe uma mariposa com essa característica em Madagascar; os naturalistas que visitarem essa ilha devem procurar por ela com tanta confiança quanto os astrônomos procuraram pelo planeta Netuno, e serão igualmente bem-sucedidos!

Em 1903, depois da morte de Darwin mas ainda durante a longa vida de Wallace, uma mariposa

até então desconhecida foi descoberta e confirmou a predição de Darwin/Wallace, sendo devidamente honrada com o nome de subespécie praedicta. Mas nem mesmo a Xanthopan morgani praedicta, conhecida como "mariposa-falcão de Darwin", é suficientemente bem-dotada para polinizar a A. longicalcar, e a existência dessa flor encoraja-nos a supor que existe uma mariposa de língua ainda mais comprida, com a mesma confiança com que Wallace invocou a descoberta predita do planeta Netuno. A propósito, esse pequeno exemplo desmente, mais uma vez, a alegação de que a ciência evolucionária não pode ser preditiva porque se ocupa da história passada. A predição de Darwin/Wallace ainda era perfeitamente válida, muito embora a mariposa praedicta sem dúvida já existisse antes que os dois cientistas a previssem. Eles prognosticaram que, em algum momento futuro, alguém descobriria uma mariposa com uma língua longa o bastante para alcançar o néctar da A. sesquipedale.

Os insetos têm boa visão de cores, mas todo o seu espectro tende para o ultravioleta e se afasta do vermelho. Como nós, eles veem amarelo, verde, azul e violeta. Mas ao contrário de nós, também enxergam na faixa ultravioleta, e não veem o vermelho na "nossa" ponta do espectro. Se você tiver uma flor tubular vermelha no jardim, será uma boa aposta, embora não uma predição infalível, que na natureza ela é polinizada não por insetos, mas por aves, que enxergam bem no extremo vermelho do espectro — talvez beija-flores, se for uma planta do Novo Mundo, ou

pássaros-sol, se for planta do Velho Mundo. Flores que para nós parecem sem graça podem, na verdade, ter suntuosa decoração de pintas e listras para atrair insetos; nós não vemos essa ornamentação porque somos cegos para o ultravioleta. Muitas flores guiam abelhas na aterrissagem com pequeninas marcas de "pista de pouso", pintadas na flor em pigmentos ultravioleta que o olho humano não pode ver.

A prímula-da-tarde (Oenothera) parece amarela para nós. Mas uma fotografia tirada através de um filtro ultravioleta mostra um padrão que interessa às abelhas porém é invisível para a nossa visão normal (ver página em cores 5). Na foto ele aparece em vermelho, mas é uma "falsa cor", uma escolha arbitrária do processo fotográfico. Não significa que as abelhas o veriam em vermelho. Ninguém sabe como o ultravioleta (ou o amarelo ou qualquer outra cor) é visto pelas abelhas (eu nem mesmo sei como o vermelho é visto por você, uma batida questão filosófica).

Um exuberante prado florido é um Times Square, um Piccadilly Circus da natureza, um cartaz de néon em câmara lenta que muda toda semana conforme diferentes flores chegam à sua estação, meticulosamente regidas por sinais — por exemplo, a mudança na duração dos dias — que as sincronizam com outras da mesma espécie. Essa extravaganza floral, espalhada na tela verde de um prado, foi moldada e colorida, magnificada e ataviada por escolhas passadas feitas por olhos de animais: olhos de abelhas, de borboletas, de moscas-das-flores. Nas florestas do Novo Mundo,

teríamos de acrescentar a essa lista os olhos de beija-flores, e nas florestas africanas, os de pássaros-sol.

Beija-flores e pássaros-sol, a propósito, não são parentes particularmente próximos. Eles têm aparência e comportamento parecidos porque convergiram para o mesmo modo de vida, dependente, em grande medida, das flores e do néctar (embora além de néctar também comam insetos). Para penetrar em nectários possuem um bico longo cujo alcance é ampliado por uma língua ainda mais comprida. Os pássaros-sol são menos hábeis em pairar no ar do que os beija-flores, que podem até voar para trás, como um helicóptero. Também convergentes, embora de um ponto muito distante na trajetória do reino animal, temos as mariposas Macroglossum stellatarum, que pairam no ar e possuem língua espetacularmente longa (esses três tipos de papa-néctar são mostrados na página em cores 5).

Voltaremos a tratar da evolução convergente mais adiante, depois de termos compreendido adequadamente a seleção natural. Agora, neste capítulo, as flores estão nos seduzindo, atraindo passo a passo, embelezando nosso caminho para a compreensão. Olhos de beija-flores, olhos de mariposas, olhos de borboletas, olhos de moscas-das-flores, olhos de abelhas recaem criticamente sobre flores silvestres, geração após geração, e as moldam, colorem, aumentam de tamanho, estampam nelas padrões e pontilhados, quase exatamente do mesmo modo como, mais tarde, os olhos humanos fariam com nossas variedades de

jardim e com os cães, vacas, couves e grãos.
Para uma flor, a polinização por insetos representa uma tremenda vantagem econômica em comparação com a desperdiçadora polinização baseada na dispersão pelo vento. Mesmo se uma abelha visitar flores indiscriminadamente, lançando-se promiscuamente de um botão-de-ouro para uma centáurea, de uma papoula para uma celidonia, um grão de pólen grudado em seu abdome peludo tem uma chance muito maior de chegar ao alvo certo — outra flor da mesma espécie — do que se fosse dispersado pelo vento. Ligeiramente melhor seria uma abelha com preferência por determinada cor — azul, por exemplo. Ou uma abelha que, embora não tendo nenhuma preferência de cor de longo prazo, tendesse a adquirir hábitos relacionados às cores e as escolhesse por temporadas. Melhor ainda seria um inseto que visitasse apenas flores de uma dada espécie. E existem flores, como a orquídea malgaxe que inspirou a predição de Darwin/Wallace, cujo néctar só está disponível para determinados insetos que se especializam nesse tipo de flor e se beneficiam de seu monopólio sobre ela. As mariposas de Madagascar são um perfeito exemplo de bala mágica.
Do ponto de vista de uma mariposa, flores que seguramente fornecem néctar são como vacas leiteiras dóceis e produtivas. Do ponto de vista das flores, mariposas que seguramente transportam seu pólen para outras flores da mesma espécie são como um bem pago serviço de Sedex, ou como pombos-correios bem treinados. Cada lado,

pode-se dizer, domesticou o outro, mediante uma reprodução seletiva, de modo a fazê-los cumprir uma tarefa melhor do que antes. Os cultivadores humanos de rosas raras tiveram quase exatamente o mesmo tipo de efeitos sobre essas flores que os insetos — apenas os exageraram um pouco. Insetos contribuem para a reprodução de flores de modo a torná-las vistosas. Os jardineiros fazem-nas ainda mais vistosas. Insetos engendram rosas de fragrância agradável. Nós entramos na história e as deixamos ainda mais perfumadas. A propósito, é por uma feliz coincidência que as fragrâncias preferidas por abelhas e borboletas também sejam do nosso agrado. Flores como o benjamin-vermelho (Trillium erectum) ou a "flor-cadáver" (Amorphophallus titanium), que usam moscas-varejeiras ou besouros necrófagos como polinizadores, costumam nausear os humanos porque imitam o fedor de carne putrefata. Tais flores, devo presumir, não tiveram seu cheiro intensificado por domesticadores humanos.

Obviamente, o relacionamento entre insetos e flores é de mão dupla, e para não sermos negligentes temos de olhar nas duas direções. Insetos podem "cultivar" flores de modo a torná-las mais belas, mas não porque apreciem a beleza. As flores é que se beneficiam de ser percebidas como atraentes pelos insetos. Estes, escolhendo para visitar as que mais lhes atraem, inadvertidamente "cultivam" a beleza floral. Ao mesmo tempo, as flores estão "cultivando" os insetos na direção da habilidade polinizadora. Repetindo, insinuei que os insetos cultivam as

flores na direção de uma maior produção de néctar, como criadores que procuram obter vacas frísias de úberes enormes. Mas é do interesse das flores racionar o néctar. Se um inseto ficar saciado, ele não terá incentivo para ir em busca de uma segunda flor — má notícia para a primeira, pois para ela a segunda visita, a polinizadora, é toda a finalidade do esforço. Do ponto de vista das flores, é preciso encontrar um delicado equilíbrio entre fornecer néctar demais (nada de visita à segunda flor) e de menos (nenhum incentivo para visitar a primeira flor).

Insetos "ordenham" flores para obter seu néctar e influenciam em sua reprodução de modo a obter maior produção — e provavelmente encontram resistência por parte das flores, como acabamos de ver. E os apicultores (ou horticultores, em atenção aos interesses dos apicultores), será que cultivam flores para que produzam ainda mais néctar do mesmo modo que fazendeiros guiam a reprodução de vacas frísias e jerseys? Eu ficaria encantado em saber a resposta. Enquanto isso, não há dúvida quanto ao estreito paralelo entre horticultores que engendram flores belas e perfumadas e as abelhas, borboletas, beija-flores e pássaros-sol que fazem o mesmo.

VOCÊ É A MINHA SELEÇÃO NATURAL

Existem outros exemplos de reprodução seletiva por olhos não humanos? Se existem! Pense na plumagem pardacenta e camuflada de uma faisoa, em contraste com o esplêndido visual do macho

da mesma espécie. Não parece haver dúvida de que, se a sobrevivência individual fosse a única coisa importante, o faisão dourado macho "preferiria" ter uma aparência igual à da fêmea, ou ter uma versão crescida de sua própria aparência quando filhote. A fêmea e os filhotes são obviamente bem camuflados, e é assim que o macho seria se a sobrevivência individual fosse sua prioridade. O mesmo vale para outros faisões como o Chrysolophus amherstiae e o bem conhecido faisão-comum. Os machos são muito vistosos e perigosamente chamativos para os predadores, mas cada espécie a seu modo. As fêmeas são camufladas e pardacentas, e cada espécie se parece com as demais. Por quê?
Um modo de explicar isso é o escolhido por Darwin: a "seleção sexual". Mas outro modo — o que melhor se presta ao meu caminho da sedução — é a "reprodução seletiva dos machos pelas fêmeas". Cores vivas atraem predadores, é verdade, mas também atraem as faisoas. Gerações de fêmeas escolheram acasalar-se com machos vistosos, resplandecentes, de preferência às criaturas pardacentas e sem graça que os machos sem dúvida teriam continuado a ser nao fosse pela reprodução seletiva promovida pelas fêmeas. O mesmo ocorreu Com as pavoas, que reproduziram seletivamente os machos, com as fêmeas de ave do paraíso que reproduziram seletivamente os seus paceiros e com numerosos outros exemplos de aves, mamíferos, peixes, anfíbios, répteis e insetos cujas fêmeas (normalmente são elas e não eles, por razões que

não precisamos examinar) escolhem entre machos concorrentes. Como no caso das flores de jardim, os humanos que criam faisões aprimoraram o trabalho seletivo prévio das faisoas, produzindo espetaculares variantes do faisão dourado, por exemplo, embora mais acentuadamente pela escolha de uma ou duas grandes mutações do que pela gradual moldagem da ave através de gerações. Os humanos também realizaram a reprodução seletiva de uma espantosa variedade de pombos (como Darwin testemunhou pessoalmente) e galinhas, descendentes de uma ave do Extremo Oriente, o galo selvagem vermelho Gallus gallus.

Variedades de galo: três ilustrações extraídas de Variação de animais e plantas sob domesticação, *de Darwin*

Este capítulo trata principalmente da seleção pela visão, mas outros sentidos podem fazer o mesmo trabalho. Criadores de canários procuram obter aves que, além de serem mais belas, cantem melhor. O canário selvagem é um tentilhão marrom-amarelado sem nada de especial na aparência. Os criadores humanos usaram a paleta

de cores fornecida pela variação genética aleatória e engendraram uma cor distinta o bastante para ser batizada com o nome da ave: amarelo-canário. A propósito, esse passarinho recebeu o mesmo nome das ilhas, e não o contrário, como no caso das ilhas Galápagos, cujo nome provém do nome espanhol da tartaruga. Mas os canários são mais conhecidos por seu canto, que também foi afinado e enriquecido pelos criadores humanos. Vários cantores foram manufaturados, entre eles os rollers, aprimorados para cantar com o bico fechado, os waterslagers, cujo canto soa como água borbulhante, e os timbrados, que produzem notas metálicas como as de um sino combinadas a estalos que lembram castanholas, em homenagem às suas origens espanholas. Os cantos das raças domésticas são mais longos, mais altos e mais frequentes que o do tipo selvagem ancestral. Mas todos esses cantos altamente valorizados são compostos de elementos encontrados em canários selvagens, exatamente como os hábitos e habilidades de várias raças de cães provêm de elementos existentes no repertório comportamental dos lobos.

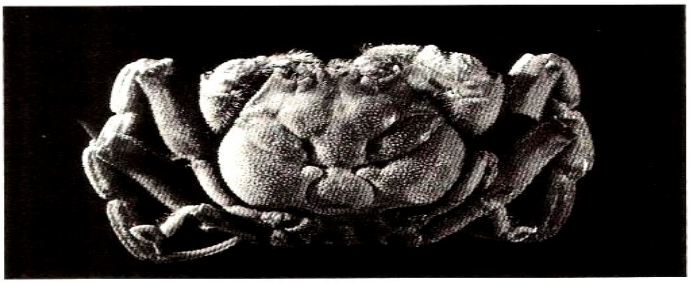
Mais uma vez, os criadores humanos apenas refinaram os esforços prévios da reprodução seletiva pelas fêmeas. Ao longo de gerações, fêmeas de canário inadvertidamente promoveram a reprodução de machos bons cantores, preferindo acasalar-se com aqueles cujo canto mais lhes agradava. No caso específico dos canários, por acaso sabemos um pouco mais. Os canários (e a rola Streptopelia risoria) são os animais preferidos

em pesquisas sobre hormônios e comportamento reprodutivo. Sabe-se que nessas duas espécies o som da vocalização do macho (que pode até provir de uma fita gravada) leva os ovários da fêmea a aumentar de tamanho e secretar hormônios que as põem em condições reprodutivas, tornando-as mais propensas ao acasalamento. Poderíamos dizer que os machos manipulam as fêmeas cantando para elas. É quase como se eles lhes aplicassem uma injeção de hormônio. Também se poderia dizer que as fêmeas promovem uma reprodução seletiva dos machos que resulta em cantores cada vez melhores. Os dois modos de ver essa questão são lados de uma mesma moeda. Aliás, como ocorre com outras espécies de aves, existe uma complicação: o canto não só é atraente para as fêmeas, mas também intimida machos rivais — mas fiquemos aqui apenas com um lado da moeda.

Agora, para prosseguirmos na argumentação, observe o par de figuras da página seguinte. A primeira é uma xilogravura de uma máscara japonesa de kabuki representando um guerreiro samurai. A segunda é um caranguejo da espécie Heikea japonica, encontrado em águas do Japão. O nome genérico, Heikea, provém do clã japonês Heike, que foi derrotado na batalha marítima de Danno-Ura (1185) por um clã rival chamado Genji. Diz a lenda que os fantasmas de guerreiros Heike afogados hoje habitam o fundo do mar no corpo dos caranguejos — os Heikea japonica. Esse mito é favorecido pelo padrão nas costas desses caranguejos, que lembra um rosto carrancudo de

guerreiro samurai. O renomado zoólogo sir Julian Huxley impressionou-se com essa similaridade e escreveu: "A semelhança do Dorippe com um guerreiro japonês zangado é específica e minuciosa demais para ser acidental. [...] Ela surgiu porque os caranguejos que mais se pareciam com o rosto de um guerreiro foram comidos com menor frequência que os demais". (Dorippe era o nome dado a esse caranguejo em 1952, quando Huxley escreveu. Voltou a ser Heikea em 1990, quando alguém redescobriu que o animal já era conhecido por esse nome em 1824; assim funcionam as rigorosas regras de prioridade na nomenclatura zoológica.)

Máscara kabuki *de guerreiro samurai*



Caranguejo Heikea japonica

Essa teoria de que gerações de pescadores supersticiosos jogaram de volta ao mar os caranguejos que lembravam um rosto humano recebeu reforço em 1980, quando Carl Sagan a mencionou em seu sensacional documentário Cosmos. Nas palavras de Sagan:
Suponhamos que, por acaso, entre os ancestrais distantes desse caranguejo, tenha surgido um que lembrasse, mesmo que ligeiramente, um rosto humano. Antes ainda da batalha de Danno-ura, talvez os pescadores relutassem em comer um caranguejo assim. Jogando-o de volta, puseram em marcha um processo evolucionário. [...] Com o passar das gerações de caranguejos e pescadores, os caranguejos com padrões que mais lembrassem uma face de samurai sobreviveram preferencialmente até que, por fim, se produzisse não apenas um rosto humano, não apenas um rosto japonês, mas a fisionomia de um feroz e carrancudo samurai.

É uma teoria encantadora, boa demais para morrer facilmente, e o meme replicou-se graças à obra magistral de Sagan. Encontrei até um site na internet em que se pode votar nas seguintes alternativas: a teoria é verdadeira (31% de 1331 votos); as fotos são falsas (15%); artesãos japoneses esculpiram as carapaças para dar-lhes esse aspecto (6%); a semelhança é mera coincidência (38%); os caranguejos são realmente manifestações de guerreiros samurais afogados (espantosos 10%). É claro que as verdades científicas não são decididas por plebiscito, e eu

votei apenas porque, do contrário, não poderia ver as porcentagens dos votos. Lamento dizer que votei com os desmancha-prazeres. Acho que, tudo sopesado, a semelhança provavelmente é uma coincidência. Não pelo fato de que as saliências e depressões na carapaça do caranguejo significam realmente ligações musculares, como salientou um cético muito conceituado. Mesmo na teoria de Huxley/Sagan, os pescadores supersticiosos teriam de ter começado por notar algum tipo de semelhança original, por menor que fosse, e um padrão simétrico de ligações musculares é exatamente o tipo de coisa que teria fornecido essa primeira semelhança. Impressiona-me mais a observação desse mesmo cético de que tais caranguejos são pequenos demais para ser comidos. Segundo ele, todos os caranguejos desse tamanho teriam sido jogados de volta ao mar, mesmo se não lembrassem rostos humanos. Devo dizer, contudo, que essa fonte mais convincente de ceticismo perdeu algum poder de persuasão quando fui convidado para um jantar em Tóquio e meu anfitrião pediu um prato de caranguejos para todos. Os bichos eram muito maiores do que o Heikea, encrustados numa carapaça forte e calcificada, mas isso não impediu aquele super-homem de pegar caranguejos inteiros, um por um, e estraçalhá-los a dentadas como se fossem maçãs, com um som de esmigalhamento que parecia pressagiar um hediondo sangramento de gengiva. Um caranguejo pequenino como o Heikea seria brincadeira de criança para um atleta gastronômico como aquele. Sem dúvida o voraz

comensal o engoliria inteiro sem ao menos piscar.
A principal razão do meu ceticismo quanto à teoria de Huxley/Sagan é o fato de o cérebro humano ser demonstravelmente ávido por ver rostos em padrões aleatórios, como sabemos por evidências científicas (sem falar nas numerosas lendas sobre o avistamento do rosto de Jesus, da Virgem Maria ou de Madre Teresa em fatias de pizza, torradas ou manchas de umidade na parede). Essa propensão intensifica-se quando o padrão se afasta da aleatoriedade na direção específica de uma simetria. Todos os caranguejos (exceto o caranguejo-ermitão) são simétricos. Mesmo relutante, desconfio que a semelhança do Heikea com um samurai seja apenas acidental, por mais que me agradasse acreditar que ela foi intensificada pela seleção natural.
Não tem importância. Há muitos outros exemplos, não envolvendo humanos, de animais "pescadores", digamos assim, que "jogam fora" (ou simplesmente não veem) um potencial alimento devido a uma semelhança com algo sinistro, e nesses casos a semelhança com toda certeza não se deve ao acaso. Se você fosse uma ave caçando lagartas na floresta, o que faria se de repente topasse com uma cobra? Daria um pulo para trás, sobressaltado, e trataria de manter uma boa distância, imagino. Pois existe uma lagarta — para ser mais preciso, a extremidade posterior de uma lagarta — que tem uma semelhança inconfundível com uma cobra. Quem tem medo de cobra — como eu, confesso envergonhado — se assusta de verdade com ela. Acho até que eu não

teria coragem de pegar esse animal na mão, mesmo sabendo muito bem que, na verdade, se trata de uma inofensiva lagarta. (Na página em cores 7 há uma imagem dessa extraordinária criatura.) Tenho esse mesmo problema para pegar moscas-das-flores que imitam vespas ou abelhas, embora possa ver que, por possuírem apenas um par de asas, elas são moscas sem ferrão. Essas são uma pequena fração de uma vasta lista de animais que ganham proteção porque se parecem com alguma outra coisa: algo não comestível como um pedregulho, um graveto ou uma folha de alga-marinha, ou inequivocamente perigoso como uma serpente, uma vespa ou olhos ferozes de um possível predador.

Será, então, que olhos de aves direcionam a reprodução de insetos para que se assemelhem a modelos intragáveis ou venenosos? Em um sentido, com certeza, temos de responder afirmativamente a essa pergunta. Qual é, afinal, a diferença entre esse processo e o das pavoas que favorecem a reprodução dos machos mais bonitos, ou o dos homens que manipulam a reprodução de cães ou rosas? A principal diferença é que as pavoas promovem a reprodução positivamente, porque se aproximam de uma qualidade que as atrai, enquanto as aves que caçam lagartas promovem a reprodução negativamente, evitando algo que as repele. Pois bem. Vejamos outro exemplo, e neste caso a "reprodução" é positiva, muito embora o seletor não se beneficie com sua escolha. Longe disso.

O peixe-pescador de mares abissais assenta-se no

fundo do mar e aguarda pacientemente por uma presa. Como muitos peixes de águas profundas, os pescadores são de uma feiura espetacular pelos nossos critérios. Talvez também o sejam pelos padrões dos peixes, embora provavelmente isso não tenha a menor importância, visto que lá embaixo, onde eles vivem, é escuro demais para se enxergar qualquer coisa. Como outros habitantes das profundezas, muitas fêmeas dessas espécies de peixe produzem sua própria luz — ou melhor, elas possuem um receptáculo especial onde se abrigam bactérias produtoras de luz. Essa "bioluminescência" não gera claridade suficiente para refletir detalhes, mas brilha o bastante para atrair outros peixes. Uma espinha que, em um peixe normal, seria apenas um dos raios de uma barbatana tornou-se no pescador alongada e rígida como uma vara de pesca. Em algumas espécies, a "vara" e tão comprida e flexível que poderíamos chamá-la de linha. E na ponta dessa vara ou linha de pesca há — adivinhe o quê? — uma isca. Essa isca varia conforme a espécie, mas todas lembram pequenos alimentos: talvez um verme, ou um peixinho, ou apenas um petisco indefinível mas tentadoramente bamboleante. Muitas dessas iscas são realmente luminosas: outro cartaz de néon natural, e neste caso a mensagem veiculada é "venha me comer". Os peixes pequenos realmente são tentados a isso. Aproximam-se bastante da isca. E essa é a última coisa que fazem, pois, nesse momento, o peixe-pescador abre a bocarra e a presa é engolida junto com uma torrente de água.

Podemos dizer, então, que essas pequenas presas estão "favorecendo a reprodução" de iscas cada vez mais atrativas, como fazem as pavoas que promovem a reprodução de pavões mais atraentes e os horticultores que procuram obter rosas mais belas? Difícil encontrar qualquer razão para afirmar o contrário. No caso das rosas, as flores mais atraentes são deliberadamente escolhidas pelo jardineiro para a reprodução. Coisa bem parecida ocorre com os pavões escolhidos pelas pavoas. É possível que elas não tenham noção de que estão escolhendo, ao contrário dos rosicultores. Mas essa não parece ser uma distinção muito importante em tais circunstâncias. Um pouco mais relevante é uma distinção entre o exemplo do peixe-pescador e os outros dois. Os peixinhos predados realmente escolhem os peixes-pescadores mais "atraentes" para a reprodução, pela rota indireta de escolhê-los para sobreviver servindo-lhes de alimento! Os peixes-pescadores com iscas pouco atrativas têm maior probabilidade de morrer de fome e, portanto, menor probabilidade de se reproduzir. E os peixinhos predados efetivamente fazem a "escolha". Mas eles escolhem com sua vida! O nosso alvo aqui é a verdadeira seleção natural, e estamos chegando ao fim da sedução progressiva a que se propõe este capítulo.
Eis um resumo da progressão:

1. Humanos escolhem deliberadamente rosas bonitas, girassóis etc. para a reprodução, e com isso preservam os genes que produzem

as características atrativas. Isso é chamado de seleção artificial, os humanos já a conheciam muito antes de Darwin, e todos compreendem que ela é suficientemente poderosa para transformar lobos em chihuahuas e espichar espigas de milho em muitos centímetros.

2. As pavoas (não sabemos se o fazem de modo consciente e deliberado, mas suponhamos que não) escolhem pavões atraentes para se acasalar, e assim preservam genes atraentes. Isso é chamado de seleção sexual, e Darwin a descobriu, ou pelo menos a reconheceu claramente e a nomeou.
3. Pequenos peixes predados escolhem (não deliberadamente, sem dúvida) peixes-pescadores atrativos para sobreviver, alimentando com seu próprio corpo os mais atraentes e assim, inadvertidamente, escolhendo-os para se reproduzir e transmitir, portanto preservar, os genes que produzem as características atraentes. Isso é chamado — sim, finalmente chegamos lá — seleção natural, e foi a maior descoberta de Darwin.

A genialidade de Darwin foi perceber que a natureza podia desempenhar o papel de agente seletor. Todos sabiam sobre a seleção artificial, ou pelo menos todos com algum conhecimento de agricultura ou jardinagem, exposições de cães ou pombos. Mas foi Darwin quem primeiro se deu conta de que não é preciso haver um agente que faça a escolha. Esta pode ser feita

automaticamente pela sobrevivência — ou pelo perecimento. A sobrevivência é importante, Darwin percebeu, porque somente quem sobrevive se reproduz e transmite os genes (Darwin não usou esse termo) que o ajudaram a sobreviver.

Escolhi o peixe-pescador para meu exemplo porque no caso dele ainda se pode representar a situação como a de um agente que usa os olhos para escolher os que irão sobreviver. Mas chegamos ao ponto de nossa argumentação — o ponto de Darwin — em que não precisamos mais falar em um agente seletor. Passemos agora do peixe-pescador para, por exemplo, o atum ou o tarpão, que perseguem ativamente suas presas. Por mais que se esprema o idioma ou a imaginação, não dá para afirmar que as presas, sendo comidas, "escolhem" quais tarpões sobreviverão. No entanto, podemos dizer que os tarpões mais bem equipados para apanhar presas, por qualquer que seja a razão — músculos natatórios velozes, visão apurada etc. —, serão aqueles que sobreviverão e, portanto, os que se reproduzirão e transmitirão os genes que os tornaram bem-sucedidos. Eles são "escolhidos" pelo próprio ato de se manter vivos, enquanto outro tarpão que, por qualquer que seja a razão, seja menos bem equipado não sobreviveria. Assim, podemos adicionar um quarto passo à nossa lista.

4. Sem nenhum tipo de agente escolhedor, esses indivíduos que são "escolhidos" pelo fato de por acaso possuírem equipamento superior para a sobrevivência são os que têm

maior probabilidade de se reproduzir e, portanto, de transmitir os genes conducentes ao equipamento superior. Portanto, cada reservatório gênico, em cada espécie, tende a encher-se de genes para produzir equipamento superior para a sobrevivência e a reprodução.

Note como a seleção natural é abrangente. Os outros exemplos que dei, passos 1, 2 e 3, assim como muitos outros, podem ser todos abarcados pela seleção natural como casos especiais do fenômeno mais geral. Darwin descobriu o caso mais geral de um fenômeno que as pessoas já conheciam sob forma mais restrita. Até então, sabia-se sobre ele apenas no caso especial da seleção artificial. O caso geral é a sobrevivência não aleatória de equipamento hereditário aleatoriamente variável. Não importa como se dá a sobrevivência não aleatória. Ela pode ser uma escolha deliberada, explicitamente intencional por um agente (como quando humanos escolhem cães greyhound para a reprodução), pode ser uma escolha impremeditada por um agente sem intenção explícita (como quando pavoas escolhem pavões para se acasalar), pode ser uma escolha inadvertida que o escolhedor, com um conhecimento a posteriori que nós temos mas ele não, preferiria não ter feito (como quando peixes escolhem se aproximar da isca do peixe-pescador e acabam sendo comidos), ou pode ser algo que não reconheceríamos como uma escolha, como quando um tarpão sobrevive graças a, digamos,

uma ignorada vantagem química profundamente embutida em seus músculos que lhe dá velocidade adicional ao perseguir presas. Darwin expressou tudo isso primorosamente em uma passagem muito citada de A origem das espécies:

Pode-se dizer que a seleção natural perscruta dia a dia, hora a hora, no mundo todo, cada variação, por menor que seja, rejeitando o que é ruim e preservando e adicionando tudo o que é bom, trabalhando de maneira silenciosa e insensível, sempre e onde houver oportunidade, no aprimoramento de cada ser orgânico em relação às suas condições orgânicas e inorgânicas de vida. Nada vemos dessas lentas mudanças em progresso até que a mão do tempo tenha marcado o longo decorrer de eras, e ainda assim tão imperfeita é nossa visão de eras geológicas muito distantes que vemos apenas que as formas de vida hoje são diferentes do que eram.

Citei aqui, como costumo fazer, da primeira edição da obra-prima de Darwin. Uma interessante interpolação entrou em edições posteriores: "Pode-se dizer metaforicamente que a seleção natural perscruta, dia a dia [...]" (grifo meu). Seria de supor que o "pode-se dizer" já é cauteloso o bastante. Mas em 1866 Darwin recebeu uma carta de Wallace, o codescobridor da seleção natural, sugerindo que lamentavelmente era necessário ainda mais resguardo contra mal-entendidos.

Meu caro Darwin, — tantas vezes me espantei

com a total incapacidade de muitas pessoas inteligentes para compreender claramente, ou ao menos perceber, os efeitos automáticos e necessários da Seleção Natural, que sou levado a concluir que o próprio termo, bem como o modo como você o ilustra, por mais claros e helos que sejam para muitos de nós, ainda não são os mais bem adaptados para incuti-la no público naturalista em geral.

Wallace mencionou então um autor francês chamado Janet, que evidentemente, ao contrário de Wallace e Darwin, não primava pela lucidez de espírito:

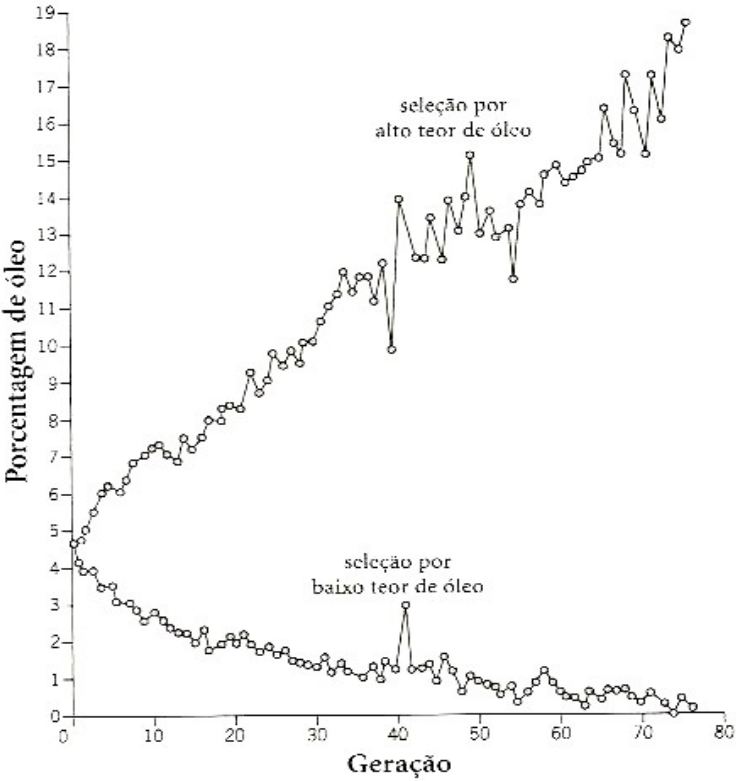
No meu entender, ele considera que o seu ponto fraco é não ver "que pensamento e direção são essenciais à ação da Seleção Natural". Essa mesma objeção foi feita inúmeras vezes por seus principais oponentes, e eu mesmo já a ouvi frequentemente em conversas. Pois acho que ela se deve quase inteiramente à sua escolha do termo Seleção Natural e, assim, à constante comparação, em seus efeitos, com a seleção do homem e também ao fato de você tantas vezes personificar a natureza dizendo que ela "seleciona", "prefere" [...] etc. etc. Para uns poucos isso é claro como o dia, e encantadoramente sugestivo, mas para muitos é evidentemente uma pedra no caminho. Assim, eu gostaria de lhe sugerir a possibilidade de evitar totalmente essa fonte de equívoco em sua grande obra, e também em futuras edições da "Origem",

e penso que é possível fazê-lo sem dificuldade e de modo muito eficaz adotando o termo de Spencer... "Sobrevivência dos Mais Aptos". Esse termo é a simples expressão do fato; "Seleção Natural" é uma expressão metafórica dele. [...]

Wallace tinha razão. Infelizmente, o termo de Spencer, "Sobrevivência dos Mais Aptos", também cria problemas, que Wallace não poderia ter previsto. Mas não os examinarei aqui. Apesar do aviso de Wallace, prefiro seguir a estratégia de Darwin: introduzir a seleção natural por intermédio da domesticação e da seleção artificial. Prefiro pensar que desta vez, quem sabe, monsieur Janet venha a entender o argumento. Mas eu também tinha outra razão para imitar o exemplo de Darwin, uma razão muito boa. O teste definitivo de uma hipótese científica é o experimento. Especificamente, experimento significa que não esperamos que a natureza faça alguma coisa para, passivamente, podermos observar e ver com o que isso se correlaciona. Nós fazemos alguma coisa. Manipulamos. Mudamos alguma coisa, de modo sistemático, e comparamos o resultado com um "controle" no qual não há mudança, ou comparamos com uma mudança diferente.
A interferência experimental é imensamente importante, pois sem ela nunca podemos ter certeza de que uma correlação que observamos tem alguma significância causal. Esse fato pode ser ilustrado com a chamada "falácia dos relógios de igreja". Em duas igrejas vizinhas, os respectivos relógios anunciam as horas com um repique de

sinos, mas na igreja de São A o toque acontece um pouquinho antes que na de São B. Um visitante marciano, notando isso, poderia deduzir que o repique de São A causa o repique de São B. Nós, obviamente, sabemos que isso não é verdade, mas o único teste verdadeiro para essa hipótese do marciano seria experimentalmente fazer soarem os sinos de São A em momentos aleatórios, em vez de a cada hora. A predição do marciano (que evidentemente seria refutada) é que o relógio de São B continuaria a soar imediatamente após o de São A. Apenas a manipulação experimental é capaz de determinar se uma correlação observada verdadeiramente indica causação.

Se nossa hipótese é que a sobrevivência não aleatória da variação genética aleatória tem importantes consequências evolucionárias, o teste experimental da hipótese teria de ser uma intervenção humana deliberada: manipular qual variante sobrevive e qual não sobrevive. Escolher, como um criador humano, que tipo de indivíduos se reproduzirá. E isso, obviamente, é seleção artificial. Seleção artificial não é apenas uma analogia para seleção natural. Ela é um teste realmente experimental — em contraste com um teste baseado na observação — da hipótese de que a seleção causa mudança evolucionária.



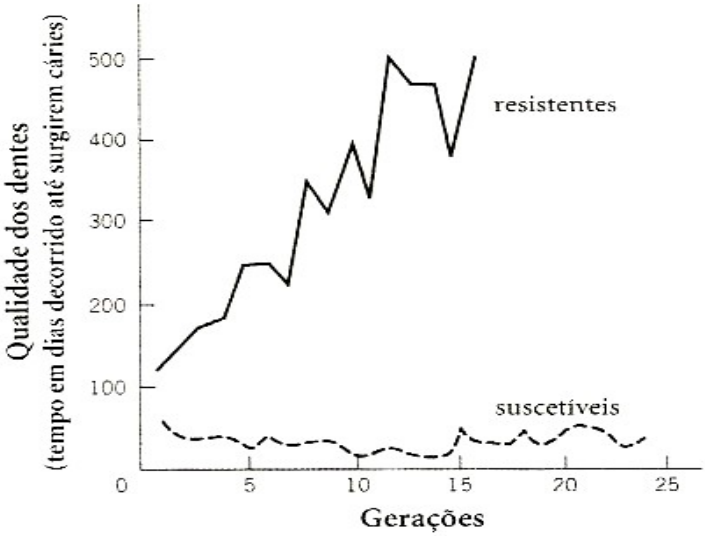
Duas linhagens de milho selecionadas por alto e baixo teor de óleo

Em sua maioria, os exemplos conhecidos de seleção artificial — por exemplo, o engendramento de várias raças caninas — são observados da perspectiva a posteriori da história em vez de serem testes deliberados de predições em condições experimentalmente controladas. No entanto, foram feitos experimentos como manda o figurino, e os resultados revelaram-se invariavelmente iguais ao que se espera dos resultados mais corriqueiros obtidos por criadores de cães e cultivadores de couves e girassóis. Vejamos um típico exemplo, especialmente bom

porque agrônomos da Estação Experimental de Illinois iniciaram o experimento há muito tempo, em 1896 (Geração 1 no gráfico). O diagrama da página anterior mostra o teor de óleo em sementes de milho de duas linhagens diferentes selecionadas artificialmente, uma selecionada por seu alto teor de óleo, a outra pelo baixo teor. Esse é um verdadeiro experimento, pois estão sendo comparados os resultados de duas manipulações ou intervenções deliberadas. Evidentemente, a diferença é gritante, e aumenta. Parece provável que tanto a tendência ascendente como a descendente acabarão por atenuar-se até deixarem de se manifestar: a linha dos baixos teores porque não é possível descer abaixo do teor zero, e a linha do alto teor por razões que são quase tão óbvias.

Eis mais uma demonstração em laboratório do poder da seleção artificial, e esta é instrutiva de outro modo. Vemos no diagrama a seguir dezessete gerações de ratos, artificialmente selecionados por sua resistência à cárie dentária. A variável marcada no gráfico é o tempo, em dias, durante o qual os ratos ficaram livres de cáries. No início do experimento, o típico período sem cáries foi de aproximadamente cem dias. Depois de apenas umas doze gerações de seleção sistemática contra cáries, o período sem cáries foi aproximadamente quatro vezes maior, ou até mais. Novamente, uma linhagem distinta foi selecionada para evoluir na direção oposta: neste caso os experimentos promoveram sistematicamente a reprodução tendo em vista a

suscetibilidade à cárie dentária.
Esse exemplo nos dá a deixa para pensar da perspectiva da seleção natural. De fato, essa discussão sobre dentes de rato será a primeira de três excursões pela seleção natural propriamente dita, pois agora estamos equipados para fazê-las. Nas outras duas, assim como no caso dos ratos, reencontraremos criaturas já vistas durante o "processo de sedução" quando tratamos da domesticação: cães e flores.



Duas linhagens de ratos selecionadas segundo alta e baixa resitência à cárie dentária

DENTES DE RATO

Por que, se é tão fácil melhorar os dentes dos ratos por seleção artificial, a seleção natural parece ter feito um trabalho tão malfeito? Com toda certeza não há benefício algum na cárie

dentária. Por que, se a seleção artificial é capaz de reduzi-la, a seleção natural não fez o mesmo trabalho há muito tempo? Ocorrem-me duas respostas, ambas instrutivas.

A primeira é que a população original usada pelos selecionadores humanos como matéria-prima de experimento consistiu não de ratos selvagens, mas de ratos brancos domesticados e criados em laboratório. Pode-se dizer que esses animais são mimados, como os humanos modernos, pois levam uma vida protegida das agruras implacáveis da seleção natural. Uma tendência genética à cárie dentária reduziria significativamente suas perspectivas reprodutivas na natureza) mas talvez não fizesse diferença em uma colônia de laboratório onde a vida é fácil e a decisão de quem se reproduz e quem não se reproduz é tomada por humanos, sem ter em vista a sobrevivência.

Essa é a primeira resposta à questão. A segunda é mais interessante, pois traz uma importante lição sobre a seleção natural e também sobre a seleção artificial. É a lição dos trade-offs, e já aludimos a ela quando tratamos das estratégias de polinização em plantas. Nada é de graça; tudo vem com uma etiqueta de preço. Poderia parecer óbvio que é preciso evitar a cárie dentária a todo custo, e não duvido que ela abrevie significativamente a vida para os ratos. Mas pensemos por um momento no que deve ocorrer para aumentar a resistência de um animal à cárie dentária. Não conheço os detalhes, mas tenho certeza de que seria dispendioso, e isso é tudo o que preciso pressupor. Suponhamos que a

resistência seja obtida com um espessamento da parede do dente, e que isso requeira cálcio extra. Não é impossível encontrar cálcio extra, mas ele tem de vir de algum lugar, e não será de graça. O cálcio (ou qualquer que possa ser o recurso limitador) não flutua no ar. Precisa entrar no corpo através de alimento. E ele é potencialmente útil para outras coisas além dos dentes. O corpo tem o que poderíamos chamar de economia do cálcio. Essa substância é necessária nos ossos e também no leite. (Estou supondo que é do cálcio que estamos falando. Se não for o cálcio, tem de haver algum recurso limitador, obtido a certo custo, e o argumento funcionará igualmente bem, seja qual for esse recurso limitador. Continuarei a usar o cálcio para seguir com a argumentação.) Um rato com dentes extrafortes poderia tender a viver mais tempo do que um rato com dentes estragados, sendo tudo o mais igual. Mas acontece que todas as outras coisas não são iguais, pois o cálcio necessário para fortalecer os dentes teve de provir de algum lugar, como os ossos, por exemplo. Um indivíduo rival cujos genes não o predispuseram a desviar cálcio dos ossos poderia, consequentemente, viver mais tempo graças a seus ossos superiores e apesar de ter dentes cariados. Ou o indivíduo rival poderia ser uma fêmea com melhores condições para criar filhos porque produz leite mais rico em cálcio. Como os economistas adoram dizer, citando uma frase de Robert Heinlein, não existe almoço grátis. Meu exemplo dos ratos é hipotético, mas podemos afirmar com certeza que, por razões econômicas, é

possível haver dentes que sejam perfeitos demais. A perfeição em um departamento tem de ser comprada, e será paga com um sacrifício em outro departamento.

Essa lição aplica-se a todos os seres vivos. Podemos esperar que existam corpos bem equipados para sobreviver, mas isso não significa que devam ser perfeitos em qualquer dada dimensão. Um antílope poderia correr mais rápido e ter maior probabilidade de escapar dos leopardos se suas pernas fossem um pouco mais compridas. Mas um antílope rival com pernas mais longas, embora possa ser equipado para correr mais do que um predador, tem de pagar por suas pernas longas em algum outro departamento de sua economia corporal. Os materiais necessários para produzir os incrementos de ossos e músculos das pernas mais longas têm de ser tirados de algum outro lugar, por isso o indivíduo de pernas mais compridas tem maior probabilidade de morrer por motivos outros que não a predação. Ou talvez seja até mais provável que ele morra por predação porque suas pernas mais longas, embora possam correr mais depressa quando intactas, tendem mais a sofrer fratura, e nesse caso não correrão mais. Um corpo é uma colcha de retalhos de soluções conciliatórias, mas voltarei a este assunto no capítulo sobre as corridas armamentistas.

O que ocorre na domesticação é que os animais são protegidos artificialmente de muitos dos riscos que abreviam sua vida na natureza. Uma vaca leiteira de raça pode produzir prodigiosas

quantidades de leite, mas seu desajeitado úbere balouçante seria um estorvo horrível se ela tivesse de fugir de um leão. Os cavalos puros-sangues correm e saltam como nenhum outro, mas suas pernas são vulneráveis a lesões durante as corridas, especialmente ao saltar obstáculos, e isso sugere que a seleção artificial empurrou-os para uma zona que a seleção natural não teria tolerado. Além disso, os puros-sangues só prosperam com uma dieta rica fornecida por humanos. Enquanto os pôneis nativos da Grã-Bretanha, por exemplo, vivem bem alimentando-se em pastagens, os cavalos de corrida só se desenvolvem bem com uma dieta muito mais rica de grãos e suplementos, coisas que eles não encontrariam livres na natureza. Também retornarei a esse assunto no capítulo sobre as corridas armamentistas.

OUTRA VEZ OS CÃES

Agora que finalmente chegamos ao tema da seleção natural, podemos voltar ao exemplo dos cães para outras lições importantes. Eu disse que eles são lobos domesticados, mas preciso fazer uma ressalva à luz de uma fascinante teoria sobre a evolução do cão. A mais clara explicação provém, novamente, de Raymond Coppinger. A idéia é que a evolução do cão não foi apenas uma questão de seleção artificial. No mínimo, foi igualmente um caso de lobos que se adaptaram por seleção natural ao modo de vida do homem. Boa parte da domesticação inicial do cão foi uma

autodomesticação mediada pela seleção natural, e não artificial. Muito antes que puséssemos as mãos nos cinzéis da caixa de ferramentas da seleção artificial, a seleção natural já esculpira lobos em "cães de povoado", autodomesticados sem nenhuma intervenção humana. Só posteriormente humanos adotaram esses cães de povoado e os transformaram, separadamente e com abrangência, no multicolorido espectro de raças que hoje exibem suas habilidades e formosuras (se é que podemos aplicar esse termo) nos concursos caninos mundo afora.

Coppinger ressalta que quando animais domésticos fogem e se tornam ferais por muitas gerações, geralmente revertem a algo semelhante a seu ancestral selvagem. Portanto, poderíamos esperar que cães ferais se tornassem bem parecidos com lobos. Só que isso não acontece. Os cães que são deixados à vida feral parecem-se com os ubíquos "cães de povoado" — vira-latas — encontrados em todas as povoações humanas do Terceiro Mundo. Isso dá força à suposição de Coppinger de que os cães que os criadores humanos finalmente modificaram já não eram mais lobos. Eles já haviam se convertido em cães: cães de povoado, vira-latas, talvez dingos.

Os lobos verdadeiros caçam em matilha. Os cães de povoado comem restos em monturos e depósitos de lixo. Os lobos também comem restos, mas seu temperamento não os inclina a frequentar os monturos humanos, devido à sua longa "distância de fuga". Se você encontrar um animal comendo, pode medir sua distância de fuga vendo

a que distância ele permite que você se aproxime antes de fugir. Para qualquer dada espécie em qualquer dada situação, haverá uma distância de fuga ótima, em algum ponto entre o arriscado ou temerário demais no extremo mais curto e o excessivamente arisco ou avesso ao risco no extremo mais longo. Os indivíduos que fogem tarde demais quando o perigo ameaça têm maior probabilidade de ser mortos por esse perigo. Menos obviamente, existe, sim, um momento em que é cedo demais para fugir. Os indivíduos ariscos demais nunca fazem uma boa refeição porque fogem ao primeiro sinal de perigo no horizonte. É fácil para nós menosprezar os perigos de uma aversão excessiva ao risco. Ficamos pasmos quando vemos zebras ou antílopes pastando calmamente bem à vista de leões, limitando-se a ficar de olho neles. Achamos isso estranho porque nossa aversão ao risco (ou a do nosso guia no safári) nos mantém firmemente dentro do jipe mesmo não tendo razão para pensar que haja algum leão num raio de quilômetros. Isso acontece porque não temos nada para contrabalançar nosso medo. Vamos fazer uma boa refeição quando voltarmos ao alojamento do safári. Nossos ancestrais selvagens compreenderiam muito melhor aquelas zebras que estão lá correndo risco. Como as zebras, eles tinham de sopesar o risco de ser comidos com o risco de não comer. Sem dúvida o leão pode atacar; mas, dependendo do tamanho do nosso grupo, há mais chance de que ele pegue outro membro do bando do que você. E se você nunca

se aventurar no local onde está o alimento, ou na lagoa onde está a água, vai morrer de qualquer modo, de fome ou de sede. Essa é a mesma lição sobre os trade-offs econômicos que já encontramos duas vezes.

A conclusão dessa digressão é que o lobo selvagem, como qualquer outro animal, tem uma distância de fuga ótima, bem situada — e potencialmente flexível — entre a ousadia excessiva e a timidez excessiva. A seleção natural influen-ciará na distância de fuga, movendo-a para um ou outro lado do continuum, se as condições mudarem no decorrer do tempo evolucionário. E se uma nova fonte de alimento abundante na forma de monturos em povoados humanos subitamente entrar no mundo dos lobos, isso deslocará o ponto ótimo na direção da ponta mais curta do continuum da distância de fuga, aumentando a relutância em fugir quando se está desfrutando dessa nova fartura.

Podemos imaginar lobos selvagens alimentando-se num monte de lixo na orla de uma povoação. A maioria deles, com medo das pedras e lanças dos homens, terá uma distância de fuga bem longa. Esses fogem para a segurança da floresta assim que humanos aparecem à distância. Mas alguns indivíduos, por acaso genético, têm uma distância de fuga um pouco mais curta do que a média. Sua disposição para correr ligeiros riscos — são corajosos, digamos assim, mas não imprudentes — permite-lhes obter mais alimento do que seus rivais mais avessos ao risco. Com o passar das gerações, a seleção natural favorece uma

distância de fuga cada vez mais curta até quase ao ponto em que os lobos realmente ficassem em perigo na presença de humanos com pedras na mão. A distância de fuga ótima mudou em razão dessa recém-disponível fonte de alimento.

Algo nas linhas dessa redução da distância de fuga, na opinião de Coppinger, foi o primeiro passo na domesticação do cão, e ocorreu graças à seleção natural, e não à seleção artificial. A diminuição da distância de fuga é uma medida comportamental do que poderíamos chamar de docilidade crescente. Nessa fase do processo, os humanos não estavam deliberadamente escolhendo os indivíduos mais dóceis para reproduzir. Nessa etapa inicial, as únicas interações entre os humanos e esses cães incipientes eram hostis. Se lobos estavam sendo domesticados, era por autodomesticação, e não por uma domesticação deliberada pelos humanos. Esta veio mais tarde.

Podemos ter uma idéia de como a docilidade, ou qualquer outra coisa, pode ser esculpida — natural ou artificialmente — examinando um fascinante experimento dos tempos modernos, a domesticação de raposas-cinzentas russas para uso no comércio de peles. Esse experimento é duplamente interessante porque suas lições nos ensinam, além do que Darwin sabia, sobre o processo de domesticação, os "efeitos colaterais" da reprodução seletiva e a semelhança, que Darwin compreendia bem, entre a seleção artificial e a natural.

A raposa-cinzenta, valiosa por sua bela pelagem, é

apenas uma variante de cor da conhecida raposa-vermelha, Vulpes vulpes. O geneticista russo Dimitri Belyaev foi incumbido de dirigir uma fazenda de criação de raposas para comercialização de peles nos anos 1950. Despediram-no porque sua genética científica era incompatível com a ideologia anticientífica de Lysenko, o biólogo charlatão que conseguiu capturar os ouvidos de Stálin e assim dominar, e quase arruinar por completo, toda a genética e a agricultura da União Soviética por cerca de vinte anos. Belyaev conservou seu amor pelas raposas e pela verdadeira genética, aquela desvinculada das idéias de Lysenko. Mais tarde, pôde retomar seus estudos de ambas como diretor de um instituto de genética na Sibéria.

Raposas selvagens são difíceis de amansar, e Belyaev procurou manipular a reprodução desses animais visando à docilidade. Como qualquer outro criador de animais ou cultivador de plantas de sua época, seu método consistiu em explorar a variação natural (ainda não existia a engenharia genética) e escolher, para reprodução, os machos e fêmeas que mais se aproximavam do ideal que ele procurava. Fazendo a seleção em função da docilidade, Belyaev poderia ter escolhido para reprodução os machos e fêmeas que mais lhe atraíssem, ou que o olhassem com as expressões faciais mais cativantes. Isso poderia ter produzido o efeito desejado na docilidade de gerações futuras. Porém, mais sistematicamente, ele usou uma medida muito parecida com a "distância de fuga" que mencionei no contexto dos lobos

selvagens, só que adaptada para filhotes. Belyaev e seus colegas (e sucessores, pois o programa experimental prosseguiu após sua morte) aplicaram testes padronizados a filhotes de raposa nos quais um experimentador oferecia comida na mão a um filhote enquanto tentava afagá-lo. Os filhotes foram classificados em três classes. Os da classe III eram os que fugiam ou mordiam a pessoa. Os da classe II permitiam que os afagassem, mas não mostravam uma receptividade positiva aos experimentadores. Os da classe I, os mais dóceis, aproximavam-se decididamente dos tratadores, abanando a cauda e choramingando. Quando os filhotes cresceram, os experimentadores sistematicamente promoveram a reprodução apenas dessa classe mais dócil.

Belyaev com suas raposas, cada vez mais dóceis e parecidas com cães

Após meras seis gerações dessa reprodução

seletiva direcionada para a docilidade, as raposas haviam mudado tanto que os experimentadores viram-se obrigados a nomear uma nova categoria, a classe da "elite domesticada", que era "ávida para estabelecer contato com humanos, choramingava para atrair a atenção, farejava e lambia os experimentadores, como fazem os cães". No início do experimento, nenhuma das raposas enquadrava-se na classe da elite. Depois de dez gerações de reprodução voltada para a docilidade, 18% eram da "elite"; após vinte gerações, 35%; e depois de 30 a 35 gerações, os indivíduos da "elite domesticada" constituíam entre 70% a 80% da população experimental.

Tais resultados talvez não sejam muito surpreendentes, exceto pela assombrosa magnitude e velocidade do efeito. Na escala do tempo geológico, 35 gerações passariam despercebidas. Ainda mais interessante, porém, foram os inesperados efeitos secundários da reprodução seletiva voltada para a docilidade. Esses foram fascinantes e genuinamente imprevistos. Darwin, que amava cães, ficaria extasiado. As raposas mansas não apenas se comportavam como cães domésticos: também se pareciam com eles. Trocaram sua típica pelagem vulpina por uma pelagem malhada em preto e branco, como a dos cães welsh collies. As orelhas pontudas de raposa foram substituídas por orelhas caídas de cachorro. A cauda passou a ter a ponta virada para cima, como a dos cães, em vez de para baixo como a das raposas. As fêmeas entravam no cio a cada seis meses como as

cadelas, em vez de anualmente como as raposas fêmeas. Segundo Belyaev, até a vocalização delas lembrava a dos cães.

Esses traços caninos foram efeitos secundários. Belyaev e sua equipe não os buscaram deliberadamente ao promover a reprodução das raposas mais dóceis. Essas outras características caninas aparentemente seguiam nas águas dos genes para docilidade. Geneticistas não se surpreendem com tais resultados. Eles reconhecem um disseminado fenômeno chamado "pleiotropia", pelo qual os genes têm mais de um efeito, todos aparentemente desvinculados. A ênfase aqui é em "aparentemente". O desenvolvimento embriônico é um assunto complexo. Quando passamos a conhecer mais detalhes, o "aparentemente desvinculados" transforma-se em "vinculados por uma rota que hoje compreendemos, mas antes ignorávamos". Presumivelmente, genes para orelhas caídas e pelagem malhada são pleiotropicamente vinculados a genes para docilidade, tanto nas raposas como nos cães. Isso ilustra um importante aspecto geral da evolução. Quando notamos uma característica de um animal e perguntamos qual é seu valor de sobrevivência darwiniano, talvez estejamos fazendo a pergunta errada. Talvez a característica que escolhemos não seja a que importa. Ela pode ter "pegado carona", sido arrastada junto na evolução por alguma outra característica à qual se liga pleiotropicamente.

Portanto, se Coppinger estiver certo, a evolução do cão não foi apenas decorrência de seleção

artificial, e sim uma complexa mistura de seleção natural (que predominou nos primeiros estágios da domesticação) e seleção artificial (que ganhou relevo mais recentemente). A transição deve ter sido sem hiatos, o que, mais uma vez, ressalta a semelhança — como Darwin reconheceu — entre seleção artificial e seleção natural.

OUTRA VEZ AS FLORES

Tratemos agora, na terceira das nossas incursões preparatórias para entrar no tema da seleção natural, das flores e polinizadores e vejamos algo do poder da seleção natural para impelir a evolução. A biologia da polinização mostra-nos alguns fatos notáveis, nos quais têm destaque as impressionantes orquídeas. Não é de admirar que Darwin demonstrasse tanto entusiasmo por elas e que, como já mencionei, tenha lhes dedicado todo um livro, The various contrivances by which orchids are fertilised by insects [Os vários estratagemas utilizados pelas orquídeas para serem fertilizadas por insetos]. Algumas orquídeas fornecem néctar, como as orquídeas de Madagascar que usam a técnica da "bala mágica" já descrita; outras, porém, encontraram um modo de evitar os custos de alimentar polinizadores: o logro. Existem orquídeas que lembram a fêmea de uma abelha (ou vespa ou mosca) em um grau suficiente para induzir um macho a tentar copular com elas. Quanto mais essa imitação for parecida com a fêmea de determinado inseto, mais os machos dessa espécie de inseto servirão como

balas mágicas, indo exclusivamenle de orquídea em orquídea dessa espécie. E mesmo se a orquídea for semelhante a "uma abelha qualquer", e não a uma dada espécie desse inseto, as abelhas que ela lograr ainda assim serão balas "razoavelmente mágicas". Se você ou eu examinássemos de perto uma orquídea conhecida como abelheira (ver página em cores 5), seríamos capazes de perceber que não se trata de um inseto; mas se olhássemos de relance pelo canto dos olhos, seríamos enganados. E mesmo olhando-a de frente, eu diria que essa orquídea abelheira (na ilustração h) é bem mais parecida com uma mamangaba do que com uma abelha-doméstica. Insetos têm olhos compostos, não tão apurados como nosso olho tipo câmera, e as formas e cores das orquídeas imitadoras de insetos, reforçadas pelas sedutoras fragrâncias que lembram as das fêmeas desses insetos, são mais do que capazes de ludibriar os machos. Aliás, é bem provável que essa imitação seja ainda mais fiel quando vista na faixa do ultravioleta, à qual não temos acesso.

A brássia, uma orquídea que lembra uma aranha (página em cores 5-k), obtém a polinização com um truque diferente. As fêmeas de várias espécies de vespa solitária ("solitária" porque não vive socialmente em grandes ninhos como as conhecidas pragas de outono que os americanos chamam de yellow-jacket) capturam aranhas, paralisam-nas com uma ferroada e depositam nelas seus ovos, transformando-as, assim, em um suprimento vivo de alimento para suas larvas. A brássia lembra uma aranha o suficiente para

enganar as fêmeas dessas vespas, que tenta penetrá-las com seu ferrão. Nesse processo, a polínia — massa de grãos de pólen produzida pelas orquídeas — adere ao corpo da vespa, e quando ela tenta aferroar outra brássia, a polínia é transferida. Não resisto a mencionar aqui o caso exatamente às avessas da aranha Epicadus heterogaster, que imita uma orquídea: insetos pousam nessa "flor" em busca de néctar e são prontamente engolidos por ela.

Algumas das mais fascinantes orquídeas que praticam esse truque sedutor são encontradas na Austrália Ocidental. Várias espécies do gênero Drakaea são conhecidas como hammer orchid (orquídea martelo). Cada espécie tem uma relação especial com determinada espécie de vespa da família Tiphiidae. Parte da flor tem uma semelhança aproximada com um inseto, e engana o macho da vespa para que ele tente copular com ela. Até esse ponto da minha descrição, a Drakaea não difere tanto assim de outras orquídeas imitadoras de inseto. Mas a Drakaea tem um notável truque extra na manga: a falsa "vespa" situa se na extremidade de um "braço" articulado, dotado de um "cotovelo" flexível. Pode-se ver claramente a articulação na figura (página colorida 5-g). O adejo da vespa quando agarra a imitação de fêmea provoca a flexão do "cotovelo", e assim a vespa é lançada repetidamente para a frente e para trás, como um martelo, contra o outro lado da flor — vamos chamá-lo de bigorna —, onde estão suas partes sexuais. A polínia é desalojada e gruda no macho da vespa, que por fim se

desvencilha e sai voando, mais triste, porém pelo jeito não mais sábio, pois vai tentar repetir o ato com outra orquídea martelo, onde ele e a polínia que nele aderiu são sacudidos de encontro à bigorna e sua carga encontra seu destinado refúgio nos órgãos femininos da flor. Exibi um filme desse espantoso processo em uma das minhas conferências para crianças proferidas na Royal Institution na época do Natal (intituladas Royal Institution Christmas Lectures for Children), e ela pode ser vista no DVD dessa conferência, intitulado The ultraviolet garden.

Nessa mesma conferência falei sobre a orquídea sul-americana do gênero Coryanthes, conhecida como "orquídea balde". Ela obtém a polinização de um modo igualmente notável, mas bem diferente. Também possui polinizadores especiais, não vespas, mas pequenas abelhas do grupo Euglossine. Essas orquídeas também não fornecem néctar. Tampouco enganam os zangões para que se acasalem com elas. Em vez disso, dão uma assistência vital aos zangões, sem os quais eles não conseguiriam atrair fêmeas reais.

Essas abelhinhas, que vivem apenas na América do Sul, têm um estranho hábito. Dedicam-se à trabalhosa tarefa de coletar substâncias fragrantes, ou pelo menos odoríferas, que armazenam em reservatórios especiais situados em suas grandes pernas posteriores. Em diferentes espécies, essas substâncias odoríferas podem provir de flores, madeira morta ou até fezes. Aparentemente, os machos usam os perfumes coletados para atrair ou cortejar de

outro modo as fêmeas. Muitos insetos servem-se de odores específicos para seduzir o sexo oposto, e a maioria fabrica o perfume em glândulas especiais. A fêmea do bicho-da-seda, por exemplo, atrai machos de uma distância assombrosamente grande exalando um único odor que ela fabrica e que os machos detectam — em teores minúsculos e a quilômetros de distância — com suas antenas. No caso das abelhas euglossinas, são os machos que usam o odor. E, ao contrário das fêmeas do bicho-da-seda, eles não sintetizam o próprio perfume; usam os ingredientes odoríferos que coletam, não como substâncias puras, mas como misturas cuidadosamente produzidas que eles preparam como experientes *perfumiers.* Cada espécie mistura um coquetel característico de substâncias coletadas de várias fontes." E existem algumas espécies de abelhas euglossinas que, para fabricar o odor característico de sua espécie, necessitam de substâncias fornecidas exclusivamente por flores de uma determinada espécie de orquídea do gênero Coryanthes — as "orquídeas balde". As abelhas euglossinas são conhecidas como "abelhas de orquídea".

Que intricado quadro de dependência mútua! As orquídeas precisam das abelhas euglossinas pelas usuais razões da "bala mágica". E as abelhas precisam das orquídeas pela razão mais inusitada de que os machos não conseguem atrair as fêmeas sem as substâncias que são impossíveis ou pelo menos difíceis demais de encontrar sem os bons ofícios das "orquídeas balde". Mas o modo como a polinização se dá é ainda mais inusitado e,

superficialmente, faz a abelha parecer mais uma vítima do que uma parceira cooperadora.
Um macho de abelha euglossina é atraído para as orquídeas pelo odor das substâncias de que ele precisa para fabricar seus perfumes sexuais. Ele pousa na borda do balde e se põe a raspar o perfume ceroso para dentro dos receptáculos especiais em suas pernas. Mas a borda do balde é escorregadia, e há uma razão para que o seja. A abelha cai no balde, que é cheio de líquido, e começa a nadar. Não consegue subir pelas laterais escorregadias do balde. Só existe uma rota de escape: um orifício especial do tamanho de uma abelha num lado do balde (não visível na figura mostrada na página em cores 4). A abelha é guiada até lá por uma "passadeira" e atravessa de rastros a passagem. O orifício é apertado, e se torna ainda mais justo quando as "mandíbulas" (estas são visíveis na figura: parecem o mandril de um torno ou furadeira elétrica) se contraem e prendem a abelha. Enquanto ela está ali detida, duas polínias grudam-se em seu dorso. A cola demora algum tempo para aderir, depois disso as mandíbulas relaxam-se e libertam a abelha. Esta sai voando, com a polínia nas costas. Ainda à procura dos preciosos ingredientes para seu perfume, ela pousa em outra "orquídea balde", e o processo repete-se. Dessa vez, porém, quando a abelha se debate para passar pelo orifício no balde, a polínia é raspada, desgruda-se e fertiliza o estigma da segunda orquídea.
A íntima relação entre flores e seus polinizadores é um encantador exem pio do que chamamos

coevolução. A coevolução frequentemente ocorre entre organismos que têm algo a ganhar uns dos outros; é uma parceria na qual cada lado contribui com algo para o outro e ambos se beneficiam da cooperação. Outro belo exemplo é o conjunto das relações que se desenvolveram em recifes de coral, independentemente em muitas partes do mundo, entre peixes-limpadores e peixes maiores. Os limpadores pertencem a várias espécies e alguns não são peixes, e sim camarões — um bom exemplo de evolução convergente. Fazer limpeza, entre os peixes dos recifes de coral, é um modo de vida bem estabelecido, como caçar, pastar ou comer formigas entre os mamíferos. Os limpadores ganham a vida comendo parasitas no corpo de seus "clientes" mais graúdos. O fato de que esses clientes se beneficiam com a limpeza foi elegantemente demonstrado removendo-se todos os limpadores de uma área experimental de recifes: em consequência, a saúde de numerosas espécies de peixe deteriorou-se. Já tratei do hábito dos limpadores em outro livro, por isso não me alongarei mais neste assunto.

A coevolução também ocorre entre espécies que não se beneficiam da presença uma da outra, como predadores e presas, parasitas e hospedeiros. Esse tipo de coevolução às vezes é chamado de "corrida armamentista", e deixarei seu exame para o capítulo 12.

A NATUREZA COMO AGENTE SELECIONADOR

Darei agora a conclusão deste capítulo e do

anterior. A seleção — na forma de seleção artificial por criadores ou cultivadores humanos — pode transformar um vira-lata num pequinês ou uma couve silvestre numa couve-flor em alguns séculos. A diferença entre duas raças caninas quaisquer nos dá uma ideia aproximada da quantidade de mudança evolucionária que pode ser obtida em menos de um milênio. A nossa questão seguinte deve ser: quantos milênios temos à disposição para explicar toda a história da vida? Se imaginarmos a imensa quantidade de diferenças que separam um vira-lata de um pequinês, obra de apenas alguns séculos de evolução, quanto maior seria o tempo que nos separa do princípio da evolução ou, digamos, do princípio dos mamíferos? Ou do tempo em que peixes foram para terra firme? A resposta é que a vida começou não há séculos, mas há dezenas de milhões de séculos. A idade medida do nosso planeta é cerca de 4,6 bilhões de anos, ou seja, aproximadamente 46 milhões de séculos. O tempo decorrido desde que o ancestral comum de todos os mamíferos atuais andou pela Terra é cerca de 2 milhões de séculos. Um século, para nós, parece um longo tempo. Você consegue imaginar 2 milhões de séculos de uma ponta à outra? O tempo decorrido desde que nossos ancestrais peixes rastejaram da água para terra firme foi aproximadamente 3,5 milhões de séculos; ou seja, cerca de 20 mil vezes o que levou para serem criadas todas as diferentes — bem diferentes mesmo — raças de cão desde o ancestral que todas elas têm em comum.

Tenha na cabeça uma ideia aproximada da quantidade de diferenças entre um pequinês e um vira-lata. Não estamos falando em medidas precisas; tanto faria pensar nas diferenças entre quaisquer outras duas raças de cão, pois elas representam em média o dobro da quantidade de mudanças que foram obtidas, por seleção artificial, a partir do ancestral comum. Tenha em mente essa ordem de mudança evolucionária e então extrapole 20 mil vezes em direção ao passado. Torna-se muito fácil aceitar que a evolução poderia realizar a quantidade de mudanças necessárias para transformar um peixe num ser humano.

Mas tudo isso pressupõe que conhecemos a idade da Terra, bem como dos vários pontos de referência no registro fóssil. Este é um livro sobre evidências, portanto não posso apenas mencionar datas. Tenho de justificá-las. Como, então, conhecemos a idade de uma dada rocha? Como calculamos a idade de um fóssil? Como conhecemos a idade da Terra? E como, aliás, descobrimos a idade do universo? Precisamos de relógios, e eles são o assunto do próximo capítulo.

4. Relógios

Se os negadores da história que duvidam do fato da evolução são ignorantes em biologia, os que pensam que o mundo começou há menos de 10

mil anos são mais do que ignorantes: estão renitentemente iludidos. Eles negam não só os fatos da biologia, mas os da física, geologia, cosmologia, arqueologia, história e química. Este capítulo explica como sabemos a idade das rochas e dos fósseis nela encerrados e apresenta as evidências de que a escala de tempo na qual a vida opera neste planeta é medida não em milhares, mas em milhares de milhões de anos.

Lembremos que os cientistas evolucionários estão na posição de detetives que chegam tarde à cena do crime. Para saber ao certo quando as coisas aconteceram, dependemos de vestígios deixados por processos que, por sua vez, dependem do tempo — relógios, em um sentido abrangente. Uma das primeiras coisas que um detetive faz ao investigar um assassinato é pedir a um médico ou patologista uma estimativa da hora em que ocorreu a morte. Dessa informação podem ser deduzidas muitas coisas, e nas histórias de detetive a estimativa do patologista recebe uma reverência quase mística. A "hora da morte" é um fato básico, um eixo infalível em torno do qual giram as especulações mais ou menos plausíveis do delelive. No entanto, obviamente essa estimativa é passível de erro, um erro que é possível medir e que pode ser muito grande. O patologista usa vários processos dependentes do tempo para estimar a hora da morte: o corpo esfria a uma velocidade característica, o rigor mortis tem início em certo momento e assim por diante. Esses são os "relógios" rudimentares disponíveis ao investigador do assassinato. Os

relógios disponíveis ao cientista evolucionário são potencialmente muito mais acurados — em proporção à escala de tempo envolvida, é claro, e não mais acurados em termos absolutos. A analogia com um relógio de precisão é mais persuasiva para uma rocha jurássica nas mãos de um geólogo do que para um cadáver que se resfria nas mãos do patologista.

Os relógios feitos pelo homem trabalham em escalas de tempo que são muito curtas pelos padrões evolucionários — horas, minutos, segundos —, e os processos dependentes do tempo que eles usam são rápidos: o balanço de um pêndulo, os giros de um cabelo, a oscilação de um cristal, a queima de uma vela, o escoamento da água em um recipiente ou da areia numa ampulheta, a rotação da Terra (registrada por um relógio de sol). Todos os relógios baseiam-se em algum processo que ocorre a um ritmo regular e conhecido. Um pêndulo balança a um ritmo bem constante, que depende de seu comprimento mas não, ao menos em teoria, da amplitude da oscilação ou da massa do peso na ponta. O carrilhão funciona com um pêndulo ligado a um escapo que avança em direção a uma roda dentada, passo a passo; a rotação então é transmitida para baixo à velocidade de rotação do ponteiro das horas, do ponteiro dos minutos e do ponteiro dos segundos. Os relógios com a roda de cabelo funcionam de modo semelhante. Os relógios digitais usam um equivalente eletrônico do pêndulo, a oscilação de certos tipos de cristais quando supridos de energia vinda de uma bateria.

Os relógios de água e os de vela são muito menos precisos, mas foram úteis antes da invenção dos relógios contadores de eventos. Eles dependem não da contagem de alguma coisa, como o relógio de pêndulo ou o digital, mas da medição de alguma quantidade. O relógio de sol é um modo impreciso de medir o tempo. Mas a rotação da Terra, que é o processo dependente de tempo no qual ele se baseia, é acurada na escala de tempo do relógio mais lento que denominamos calendário. Isso porque, nessa escala de tempo, ela não é mais um relógio medidor (o relógio de sol mede o ângulo continuamente variável do Sol), mas um relógio contador (que conta os ciclos de dia/noite).

Temos à disposição, na imensamente lenta escala de tempo da evolução, tanto relógios contadores como medidores. Mas para investigar a evolução não precisamos apenas de um relógio que nos indique a hora presente, como fazem o relógio de sol e o de pulso. Precisamos de algo mais nas linhas de um cronômetro que possa ser reiniciado. Nosso relógio evolucionário precisa ser zerado em algum ponto para que possamos calcular o tempo decorrido desde o ponto inicial de modo a obter, por exemplo, a idade absoluta de algum objeto, como uma rocha, por exemplo. Os relógios radioativos para datar rochas ígneas (vulcânicas) são convenientemente zerados no momento em que a rocha se forma com a solidificação de lava derretida.

Felizmente dispomos de vários relógios naturais que podem ser zerados. É bom que haja tal

variedade, pois assim podemos usar alguns relógios para aferir a acurácia de outros. Temos mais sorte ainda porque eles abrangem sensivelmente uma gama muito ampla de escalas de tempo, e precisamos disso também porque as escalas de tempo evolucionárias abarcam seis ou sete ordens de grandeza. Vale a pena explicitar o que isso significa. Uma ordem de grandeza denota algo preciso. Uma mudança em uma ordem de grandeza é uma multiplicação (ou divisão) por dez. Como usamos um sistema decimal, a ordem de grandeza de um número é uma contagem do número de zeros antes ou depois do ponto decimal. Assim, uma variação de oito ordens de grandeza é uma variação de 100 milhões de vezes. O ponteiro dos segundos de um relógio faz a lotação sessenta vezes mais rápido do que o dos minutos e 720 vezes mais rápido que o das horas; portanto, os três ponteiros abrangem uma variação menor do que três ordens de grandeza. Isso é uma ninharia em comparação com as oito ordens de grandeza abrangidas por nosso repertório de relógios geológicos. Os relógios de desintegração radioativa também estão disponíveis para escalas de tempo curtas, inclusive de frações de segundo; mas para propósitos evolucionários, relógios capazes de medir séculos ou, talvez, décadas são os mais rápidos de que precisamos. Esse extremo rápido do espectro dos relógios naturais — as datações por anéis de árvore e carbono — é útil para fins arqueológicos e para datar espécimes no tipo de escala de tempo que abrange a domesticação do cão ou da couve.

No outro extremo da escala, precisamos de relógios naturais que possam marcar o tempo em centenas de milhões, ou mesmo bilhões de anos. E, maravilha, a natureza nos forneceu exatamente a variedade de relógios de que precisamos. Mais ainda: suas faixas de sensibilidade sobrepõem-se, de modo que podemos usá-los para conferir uns aos outros.

ANÉIS DE ÁRVORE

Podemos usar um relógio de anéis de árvore para datar um pedaço de madeira, por exemplo, uma viga de uma mansão em estilo Tudor, com espantosa precisão em anos. Vejamos como isso funciona. Primeiro, como muitos sabem, é possível calcular a idade de uma árvore recém-cortada contando-se os anéis em seu tronco, com a suposição de que o anel externo representa o presente. Os anéis retratam o crescimento diferencial nas diversas estações do ano — inverno ou verão, estação seca ou estação chuvosa — e são especialmente pronunciados nas grandes latitudes, onde as estações são bem marcadas. Por sorte, não precisamos derrubar a árvore para datá-la. Podemos espiar seus anéis sem matá-la, introduzindo uma sonda em seu tronco e extraindo uma amostra do cerne. Mas apenas contar os anéis não nos dirá em que século a viga da casa ou o mastro do navio viking estavam vivos. Se quisermos saber exatamente a data de um pedaço de madeira antigo, morto há muito tempo, temos de ser mais sutis: não apenas contar os anéis, mas analisar o padrão de anéis grossos e finos.

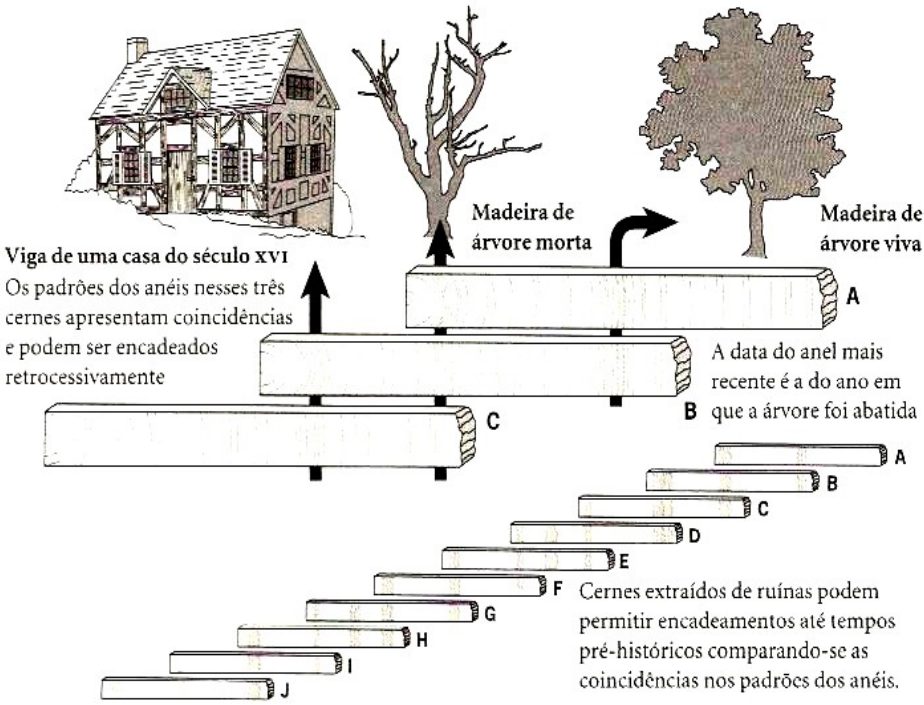
Assim como a existência de anéis indica os ciclos sazonais de crescimento intenso e fraco, também existem anos melhores e anos piores, pois as manifestações climáticas variam de ano para ano; ocorrem secas que retardam o crescimento e anos excelentes que o aceleram; alguns anos são frios, outros quentes, e há, inclusive, anos com catástrofes anormais como o El-Nino ou a que assolou Krakatoa. Os anos bons, do ponto de vista da árvore, produzem anéis mais largos do que os anos ruins. H o padrão de anéis largos e estreitos em uma dada região, causado por uma sequência específii a de bons c maus anos que tornam uma marca registrada, é suficientemente característico — uma impressão digital que rotula os anos exatos em que os anéis se formaram — para ser reconhecível de uma árvore para outra.

Os dendrocronologistas medem anéis em árvores recentes, nas quais a data exata de cada anel é conhecida contando-se retrocessivamente a partir do ano em que se sabe que a árvore foi abatida. A partir dessas medições, eles constroem uma coleção referencial de padrões de anéis, e com ela é possível comparar os padrões de anéis de uma amostra arqueológica de madeira cuja data se quer conhecer. Eis um exemplo de como seria um relatório: "Esta viga Tudor contém uma sequência distintiva de anéis que se equipara a uma sequência da coleção de referência, cuja época de abate foi determinada entre os anos 1541 a 1547. Portanto, a casa foi construída depois do ano 1547 d.C".

Perfeito. Mas acontece que nem todas as árvores

de hoje estavam vivas na época Tudor, muito menos na idade da pedra ou antes. Existem algumas árvores — certas espécies de pinheiro, algumas sequoias gigantes — que vivem por milênios, mas a maioria das árvores usadas em construção é cortada com menos de um século de vida. Como, então, montar uma série de referência de anéis para tempos mais antigos? E para tempos tão distantes que nem mesmo os mais antigos pinheiros sobreviventes alcançam? Acho que você já adivinhou a resposta: pelas coincidências. Uma corda forte pode ter cem metros de comprimento, mas nenhuma de suas fibras isoladas tem mais do que uma fração desse total. Para usar o princípio da coincidência em dendrocronologia usamos os padrões característicos de referência cuja data é conhecida pela análise de árvores modernas. Em seguida, identificamos um padrão característico nos anéis antigos das árvores modernas e procuramos essa mesma "impressão digital" nos anéis mais jovens de árvores mortas há muito tempo. Depois olhamos as impressões digitais dos anéis mais velhos dessas mesmas árvores mortas há muito tempo e procuramos o mesmo padrão nos anéis mais jovens de árvores ainda mais velhas. E assim por diante. Teoricamente, poderíamos prosseguir nossa busca com esse encadeamento ictrocessivo por milhões de anos usando florestas petrificadas, embora na prática a dendrocronologia só seja usada em escalas de tempo arqueológicas de alguns milhares de anos. E o assombroso na dendrocronologia é que, ao menos em teoria, mesmo para uma floresta

petrificada de 100 milhões de anos podemos estimar a data em anos exatos. E podemos afirmar que o anel X de uma árvore fóssil jurássica formou-se exatamente 257 anos depois do anel Y de outra árvore jurássica! Se existissem florestas petrificadas suficientes para se construir uma série ininterrupta desde o presente, poderíamos calcular que determinada árvore não é simplesmente da era jurássica: ela estava viva exatamente no ano 151.432.657 a.C! Infelizmente não dispomos de tal série ininterrupta. Por isso, na prática, a dendrocronologia nos permite voltar ao passado por apenas cerca de 11.500 anos. Ainda assim, sentimos uma comichão quando pensamos que, se pudéssemos encontrar florestas petrificadas o suficiente, seríamos capazes de fazer datações em anos exatos que abrangessem uma faixa de centenas de milhões de anos.



As bases da dendrocronologia

Os anéis de árvore não são o único sistema que viabiliza uma datação em anos exatos. Em lagos glaciais encontramos camadas de sedimentos chamadas varves, que se depositam no fundo. Como os anéis de árvore, os varves variam sazonalmente e de ano a ano. Assim, teoricamente os varves nos permitem usar o mesmo princípio, com o mesmo grau de acurácia. Também os recifes de coral têm anéis de crescimento anual, como as árvores. Um uso fascinante dado a eles é na datação de terremotos ocorridos no passado distante. Aliás, anéis de árvore também podem indicar a data de terremotos. A maioria dos outros

sistemas de datação disponíveis, incluindo todos os relógios radioativos que efetivamente usamos em escalas temporais de dezenas de milhões, centenas de milhões ou bilhões de anos, tem sua precisão limitada por uma margem de erro que é aproximadamente proporcional à respectiva escala de tempo.

RELÓGIOS RADIOATIVOS

Examinemos agora os relógios radioativos. Há uma porção deles a escolher e, como eu já disse, para nossa sorte eles abrangem de séculos a bilhões de anos. Cada um tem sua margem de erro, que costuma ser de aproximadamente 1%. Assim, para datar uma rocha de bilhões de anos temos de nos satisfazer com um erro aproximado de dezenas de milhões de anos a mais ou a menos. Para datar uma rocha de centenas de milhões de anos, temos de nos contentar com um erro de milhões. Para datar uma rocha de apenas dezenas de milhões de anos, devemos admitir um erro de mais ou menos centenas de milhares.

Para entender como funcionam os relógios radioativos, primeiro precisamos compreender o que é um isótopo radioativo. Toda matéria é composta de elementos, os quais em geral se combinam quimicamente com outros elementos. Existem aproximadamente cem deles; um pouco mais, se contarmos os que somente podem ser detectados em laboratório; um pouco menos, se considerarmos apenas os encontrados na natureza. Exemplos de elementos são: carbono,

ferro, nitrogênio, alumínio, magnésio, flúor, argônio, cloro, sódio, urânio, chumbo, oxigênio, potássio e estanho. A teoria atômica — que, suponho, todos aceitam, inclusive os criacionistas — nos diz que cada elemento tem seu átomo característico, que é a menor partícula em que se pode dividir um elemento sem que ele deixe de ser esse elemento. Como é o aspecto de um átomo, digamos, de um átomo de chumbo, ou de cobre, ou de carbono? Bem, certamente não se parece nada com chumbo, cobre ou carbono. Ele não tem aparência nenhuma, pois é pequeno demais para formar qualquer tipo de imagem em nossa retina, mesmo com um microscópio ultrapoderoso. Podemos usar analogias ou modelos que nos ajudarão a visualizar um átomo. O modelo mais famoso foi criado pelo grande físico dinamarquês Niels Bohr. O modelo de Bohr, hoje bem ultrapassado, é um sistema solar em miniatura. No papel do Sol está o núcleo, em torno do qual orbitam os elétrons no papel dos planetas. Como no sistema solar, quase toda a massa do átomo está contida no núcleo ("sol"), e quase todo o volume está contido no espaço vazio que separa os elétrons ("planetas") do núcleo. Um elétron é minúsculo em comparação com o núcleo, e o espaço entre os elétrons e o núcleo é imenso em relação ao tamanho dessas duas partículas. Uma analogia muito usada é a do núcleo como uma mosca no meio de um estádio de futebol. O núcleo vizinho mais próximo é outra mosca, no meio de um estádio adjacente. Os elétrons de cada átomo alvoroçam-se em órbita de suas respectivas

moscas, menores do que o mais minúsculo dos borrachudos, pequenos demais para ser vistos na mesma escala das moscas. Quando vemos um sólido pedaço de ferro ou rocha, na "realidade" estamos olhando para o que é um espaço quase inteiramente vazio. Ele parece sólido e dá ao tato a sensação de solidez porque nosso sistema sensório e nosso cérebro por conveniência o tratam como se fosse sólido e opaco. É conveniente para o cérebro representar uma rocha como algo sólido porque não podemos atravessá-la. "Sólido" é o nosso modo de perceber pelos sentidos as coisas que não podemos atravessar andando ou caindo devido às forças eletromagnéticas entre os átomos. "Opaco" é a experiência que temos quando a luz ricocheteia na superfície de um objeto sem atravessá-lo.

Três tipos de partícula entram na composição do átomo, ou pelo menos é o que supõe o modelo de Bohr. Os elétrons nós já encontramos. As outras duas, muito maiores do que os elétrons, mas ainda minúsculas se comparadas a qualquer coisa que possamos imaginar ou perceber pelos sentidos, chamam-se prótons e nêutrons e são encontradas no núcleo. As duas têm quase o mesmo tamanho. O número de prótons é fixo para cada elemento e igual ao número de elétrons. É chamado de número atômico. Cada elemento tem seu número atômico exclusivo, e não há lacunas na lista dos números atômicos, a famosa lista chamada de tabela periódica. Cada número na sequência corresponde exatamente a um, e somente a um, elemento. O elemento de número atômico 1 é o

hidrogênio, 2 é hélio, 3 lítio, 4 berilo, 5 boro, 6 carbono, 7 nitrogênio, 8 oxigênio e assim por diante até números altos como 92, o número atômico do urânio.

Protons e elétrons têm cargas elétricas de sinais opostos — por convenção arbitrária, chamamos uma delas de positiva e a outra de negativa. Essas cargas são importantes quando os elementos formam compostos químicos uns com outros, o mais das vezes mediados por elétrons. Os neutrons de um átomo são ligados ao núcleo juntamente com os prótons. Ao contrário destes, eles não têm carga elétrica e não desempenham nenhum papel em reações químicas. Os prótons, neutrons e elétrons de qualquer dado elemento são exatamente iguais aos de qualquer outro elemento. Não existem, por exemplo, próton com sabor de ouro, elétron com sabor de cobre ou nêutron com sabor de potássio. Um próton é um próton é um próton, e o que faz um átomo de cobre é o fato de ele possuir exatamente 29 prótons (e exatamente 29 elétrons). O que comumente concebemos como a natureza do cobre é uma questão de química. A química é uma dança de elétrons, e se define pelas interações dos átomos por meio de seus elétrons. Ligações químicas são facilmente rompidas e refeitas, pois nelas apenas elétrons são separados ou trocados. Já as forças de atração nos núcleos atômicos são muito mais difíceis de romper. É por isso que "dividir o átomo" soa tão ameaçador — mas pode ocorrer, em reações "nucleares", em vez de químicas, e os relógios radioativos dependem

disso.
Os elétrons têm massa insignificante, por isso a massa total de um átomo, seu "número de massa", é igual ao número de prótons e neutrons somados. Normalmente ele é bem mais do que o dobro do número atômico, porque em geral há alguns neutrons a mais do que prótons em um núcleo. Ao contrário do número de prótons, o número de neutrons num átomo não caracteriza um elemento. Átomos de qualquer dado elemento podem existir em diferentes versões, chamadas isótopos, as quais têm diferentes números de neutrons, mas sempre o mesmo número de prótons. Alguns elementos, como o flúor, têm apenas um isótopo encontrado naturalmente. O número atômico do flúor é 9 e seu número de massa é 19, o que permite deduzir que ele tem 9 prótons e 10 neutrons. Outros elementos têm muitos isótopos. O chumbo possui cinco isótopos que ocorrem comumente. Todos têm o mesmo número de prótons (e de elétrons), 82, que é o número atômico do chumbo, mas os números de massa variam entre 202 e 208. O carbono leni liés isótopos que ocorrem naturalmente. O carbono-12 é o comum, com o mesmo número de nêutrons e prótons: seis. Há também o carbono-13, efêmero demais para nos ocuparmos dele, e o carbono-14, que é raro, mas não em demasia, e é útil para datar amostras orgânicas relativamente recentes, como veremos.
Eis a próxima informação importante para o nosso raciocínio: alguns isótopos são estáveis, outros não. O chumbo-202 é um isótopo instável;

chumbo-204, chumbo-206, chumbo-207 e chumbo-208 são isótopos estáveis. "Instável" significa que os átomos espontaneamente decaem para alguma outra coisa, a uma taxa previsível, embora não em momentos previsíveis. A previsibilidade da taxa de desintegração é a chave de todos os relógios radiométricos. Outra palavra para designar "instável" é "radioativo". Há diversos tipos de desintegração radioativa, o que possibilita o uso de vários relógios. Para os nossos propósitos não é importante entendê-los, mas eu os explicarei aqui para mostrar o magnífico nível de detalhe que os físicos alcançaram trabalhando com essas coisas. Esse elevado grau de pormenorização lança uma luz sardónica sobre as desesperadas tentativas dos criacionistas para descartar as evidências da datação radioativa e manter a Terra jovem como Peter Pan.

Todos esses tipos de instabilidade envolvem nêutrons. Em um tipo, um nêutron transforma-se num próton. Isso significa que o número de massa permanece igual (pois prótons e nêutrons têm a mesma massa), mas o número atômico aumenta em uma unidade, de modo que o átomo torna-se um elemento diferente, uma casa a mais na tabela periódica. Por exemplo, o sódio-24 torna-se magnésio-24. Em outro tipo de desintegração radioativa ocorre exatamente o inverso. Um próton torna-se um nêutron. Novamente o número de massa permanece igual, só que desta vez o número atômico diminui em uma unidade, e o átomo se transforma no elemento da casa anterior da tabela periódica. Um terceiro tipo de

desintegração radioativa tem o mesmo resultado. Um nêutron desgarrado por acaso colide com um núcleo e desaloja um próton, tomando o lugar dele. Novamente não ocorre mudança no número de massa; novamente o número atômico diminui em uma unidade, e o átomo se transforma no elemento anterior na tabela periódica. Existe também um tipo mais complexo de desintegração no qual um átomo ejeta uma partícula chamada alfa. A partícula alfa consiste em dois prótons e dois nêutrons ligados uns aos outros. Isso significa que o número de massa diminui em quatro unidades, e o número atômico em duas. O átomo transforma-se no elemento que estiver duas casas antes dele na tabela periódica. Um exemplo de desintegração alfa é a mudança do isótopo urânio-238, altamente radioativo (com 92 prótons e 146 nêutrons) para o tório-234 (com 90 prótons e 144 nêutrons).

Estamos próximos do ponto principal da questão. Cada isótopo instável ou radioativo decai a uma taxa própria, característica, a qual é conhecida com precisão. Além disso, algumas dessas taxas são bem mais lentas do que outras. Em todos os casos, a desintegração é exponencial. Exponencial significa que se começarmos, por exemplo, com 100 gramas de um isótopo radioativo, uma quantidade fixa, por exemplo, 10 gramas, não se transformará em outro elemento em um dado tempo. O que ocorre é que uma proporção fixa do que sobrar se transformará no segundo elemento. A medida favorita da taxa de desintegração é a "meia-vida". Meia-vida de um isótopo radioativo é

o tempo necessário para que metade dos seus átomos se desintegre. A meia-vida é sempre a mesma, não importa quantos átomos já tenham se desintegrado — é isso que significa desintegração exponencial. Você pode perceber que, com essas sucessivas desintegrações na metade, nunca sabemos realmente quando não resta mais coisa alguma. No entanto, podemos dizer que, depois de passado um tempo suficiente — digamos, dez meias-vidas — o número de átomos que sobrou é tão pequeno que, para fins práticos, não resta mais nada. Por exemplo, a meia-vida do carbono-14 situa-se entre 5 mil e 6 mil anos. Para espécimes mais antigos do que 50 mil-60 mil anos a datação por carbono é inútil, e precisamos recorrer a um relógio mais lento.

A meia-vida do rubídio-87 é 49 bilhões de anos. A do férmio-244 é 3,3 milissegundos. Esses impressionantes extremos servem para ilustrar o estupendo alcance dos relógios disponíveis. Embora a meia-vida de 2,4 segundos do carbono-15 seja curta demais para resolver questões evolucionárias, a meia-vida do carbono-14, 5730 anos, é perfeita para datar na escala de tempo arqueológica, e logo trataremos dela. Um isótopo muito usado na escala de tempo evolucionária é o potássio-40, com sua meia-vida de 1,26 bilhão de anos, e eu o usarei como exemplo para explicar toda a idéia dos relógios radioativos. Muitos o chamam de relógio de potássio-argônio, pois o argônio-40 (uma casa antes na tabela periódica) é um dos elementos para os quais o potássio-40 decai (o outro, resultante de um tipo diferente de

desintegração radioativa, é o cálcio-40, uma casa depois na tabela periódica). Se começarmos com determinada quantidade de potássio 40, após 1,26 bilhão de anos metade do potássio-40 terá decaído para argônio-40. É isso que significa meia-vida. Após mais 1,26 bilhão de anos, metade do que resta (um quarto do original) terá decaído e assim por diante. Depois de um tempo menor do que 1,26 bilhão de anos, uma quantidade proporcionalmente menor do potássio original terá decaído. Assim, imagine que você começa com certa quantidade de potássio-40 em um espaço fechado sem nenhum argônio-40. Passadas algumas centenas de milhões de anos, um cientista vai até esse espaço fechado e mede as proporções relativas de potássio-40 e argônio-40. Com base nessa proporção — independentemente das quantidades absolutas envolvidas —, conhecendo a meia-vida da desintegração do potássio-40 e supondo que não havia argônio no início, podemos estimar o tempo decorrido desde que o processo começou — em outras palavras, desde que o relógio foi "zerado". Note que precisamos conhecer a razão entre os isótopos pai e filho (potássio-40 e argônio-40, respectivamente). Além disso, como já vimos neste capítulo, é necessário que nosso relógio preste-se a ser zerado. Mas o que significa dizer que um relógio radioativo é "zerado"? O processo de cristalização dá significado a essa expressão.

Como todos os relógios radioativos usados pelos geólogos, o de potássio-argônio só funciona para as chamadas rochas ígneas. Batizadas com o

nome em latim do fogo, as rochas ígneas são aquelas que se solidificaram de rochas derretidas — magma subterrâneo no caso do granito, lava de vulcões no caso do basalto. Quando a rocha derretida solidifica-se e forma granito ou basalto, faz isso na forma de cristais. Não, normalmente, de cristais grandes e transparentes como os do quartzo, mas cristais pequenos demais para ser distinguidos individualmente a olho nu. São diversos os tipos de cristais, e vários deles, assim como algumas micas, contêm átomos de potássio. Entre estes existem átomos do isótopo radioativo potássio-40. No momento em que um cristal se forma por ocasião da solidificação de uma rocha, existe potássio-40 mas não argônio. O relógio é "zerado", no sentido de que não existem átomos de argônio no cristal. No decorrer de milhões de anos, o potássio-40 decai lentamente e, um a um, átomos de argônio-40 substituem átomos de potássio-40 no cristal. A quantidade acumulada de argônio-40 é uma medida do tempo que se passou desde que a rocha se formou. Mas, pelas razões que já expus, essa quantidade só tem sentido se for expressa como a razão entre potássio-40 e argônio-40. Quando o relógio foi zerado, a porcentagem de potássio-40 era 100%. Após 1,26 bilhão de anos, a razão será de 50-50. Passados outros 1,26 bilhão de anos, metade do potássio do restante terá sido convertida em argônio-40 e assim por diante. Proporções intermediárias indicam tempos intermediários desde que o relógio de cristal foi zerado. Assim, os geólogos, medindo a proporção entre o potássio-40 e o

argônio-40 em um pedaço de rocha ígnea que encontram hoje, podem dizer há quanto tempo a rocha cristalizou-se de seu estado derretido. Rochas ígneas tipicamente contêm muitos isótopos radioativos diferentes, e não apenas o potássio-40. Um afortunado aspecto do modo como as rochas ígneas solidificam-se é que elas o fazem subitamente, e assim todos os relógios em um dado pedaço de rocha são zerados ao mesmo tempo.

Só rochas ígneas possibilitam relógios radioativos, mas quase nunca encontramos fósseis em rochas desse tipo. Os fósseis são formados em rochas sedimentares como o calcário e o arenito, que não são lava solidificada. Elas são camadas de lama, lodo ou areia que gradualmente se depositaram no leito de um mar, lago ou estuário. A areia ou lama torna-se compacta com o passar do tempo e endurece como rocha. Corpos que ficarem presos na lama têm uma chance de fossilizar-se. Embora só uma pequena proporção de corpos se fossilize, as rochas sedimentares são as únicas que contêm fósseis dignos de menção.

Infelizmente não é possível datar rochas sedimentares pela radioatividade. Presumivelmente, as partículas individuais de lodo ou areia que formam as rochas sedimentares contêm potássio-40 e outros isótopos radioativos; portanto, poderíamos dizer que elas contêm relógios radioativos; mas infelizmente esses relógios não têm serventia para nós, pois não são zerados de um modo adequado ou são zerados cada qual em um momento distinto. As partículas

de areia que se compactam e formam arenito podem originalmente ter sido pulverizadas de rochas ígneas, mas as rochas ígneas das quais elas provêm solidificaram-se em momentos diferentes. Cada grão de areia tem um relógio zerado em uma hora própria, e essa hora provavelmente ocorreu muito antes que a rocha sedimentar se formasse e se tornasse o túmulo do fóssil que tentamos datar. Por isso, do ponto de vista da marcação do tempo, a rocha sedimentar não presta. Não pode ser usada. O melhor que podemos fazer — um melhor bem aceitável — é usar as datas de rochas ígneas que são encontradas próximas de rochas sedimentares, ou incrustadas nelas.

Para datar um fóssil não é preciso encontrá-lo no meio de duas lâminas de rochas ígneas, embora esse seja um modo de ilustrar o princípio com total clareza. O método realmente usado e mais refinado. Camadas reconhecivelmente semelhantes de rochas sedimentares ocorrem no mundo todo. Muito antes de ser descoberta a datação radioativa, essas camadas haviam sido identificadas e batizadas, recebendo nomes como cambriana, ordoviciana, devoniana, jurássica, cretácea, eocena, oligocena, miocena. Os sedimentos devonianos são reco-nhecivelmente devonianos, não só em Devon (o condado no sudoeste da Inglaterra que lhes deu o nome), mas em outras partes do mundo. Eles são reconhecivelmente semelhantes entre si e contêm listas semelhantes de fósseis. Os geólogos há muito tempo conhecem a ordem na qual esses

sedimentos nomeados se depositaram. Só que, antes do advento dos relógios radioativos, não sabíamos quando eles haviam se depositado. Podíamos classificá-los em ordem porque — obviamente — sedimentos mais antigos tendem a jazer sob sedimentos mais recentes. Os sedimentos devonianos, por exemplo, são mais antigos do que os carboníferos (assim chamados em razão do carbono que é frequentemente encontrado nas camadas carboníferas), e sabemos disso porque, nas partes do mundo onde as duas camadas coincidem, a camada devoniana jaz sob a carbonífera (as exceções a essa regra ocorrem em lugares para os quais sabemos, por outras evidências, que as rochas foram inclinadas ou mesmo viradas de cabeça para baixo). Normalmente não temos a sorte de encontrar uma série completa de camadas, da cambriana no fundo até a recente no topo. Mas como as camadas são tão reconhecíveis, podemos calcular suas idades relativas percorrendo em zigue-zague as áreas do mundo e relacionando umas às outras. Assim, muito antes de sabermos a idade dos fósseis, conhecíamos a ordem em que eles se depositaram, ou pelo menos a ordem em que os sedimentos nomeados se depositaram. Sabíamos que os fósseis cambrianos, no mundo todo, eram mais antigos que os ordovicianos, que por sua vez eram mais antigos que os silurianos; depois vinham os devonianos, os carboníferos, os permianos, triássicos, jurássicos, cretáceos e assim por diante. E dentro dessas principais camadas nomeadas, os geólogos também

distinguiam sub-regiões: jurássica superior, meso-Jurássica, jurássica inferior etc.
Os estratos nomeados geralmente são identificados pelos fósseis que con têm. E usaremos a ordenação dos fósseis como evidência da evolução! Existe risco de que isso se transforme em um argumento circular? Certamente não. Pense bem. Os fósseis cambrianos são um grupo característico, inequivocamente reconhecíveis como cambrianos. Por ora, estamos usando um conjunto característico de fósseis simplesmente como rótulos para rochas cambrianas — espécies indicadoras — sempre que os encontrarmos. Aliás, é por isso que companhias petrolíferas contratam especialistas em fósseis para identificar estratos de rocha específicos, em geral por microfósseis, minúsculas criaturas chamadas foraminíferos, por exemplo, ou radiolários.
Uma lista característica de fósseis é usada para identificar rochas ordovicianas, rochas devonianas etc. Até aqui, só estamos consultando esses conjuntos de fósseis para identificar se uma placa de rocha é, por exemplo, permiana ou siluriana. Agora daremos um passo à frente e, ajudados por um encadeamento feito em todo o mundo, usaremos a ordem na qual os estratos nomeados se depositaram como evidência de quais estratos são mais antigos ou mais recentes do que outros. Tendo estabelecido esses dois conjuntos de informações, podemos então olhar fósseis de estratos sucessivamente mais recentes para verificar se constituem uma sequência

evolucionária coerente quando comparados entre si em sequência. Eles progridem em uma direção coerente? Certos tipos de fóssil, de mamíferos, por exemplo, aparecem somente depois de determinada data, e nunca antes? A resposta a todas essas perguntas é sim. Sempre sim. Sem exceções. Isso é uma evidência eloquente da evolução, pois nunca foi um fato necessário, nunca foi algo que tinha de decorrer do nosso método de identificar estratos e do nosso método de obter uma sequência temporal.

Nada do que poderíamos remotamente chamar de mamífero jamais foi encontrado em rochas devonianas ou em qualquer estrato mais antigo. Isso é um fato. Não se trata de algo estatisticamente mais raro em rochas devonianas do que em outras rochas. Categoricamente, nenhum mamífero jamais apareceu em rochas anteriores a certa data. Mas isso não necessariamente tinha de ser assim. Poderia acontecer que, conforme cavássemos cada vez mais para baixo a partir do Devoniano, passando pelo Siluriano ou mesmo pelo mais antigo Ordoviciano, subitamente descobríssemos que a era Cambriana — mais antiga do que qualquer dessas três — fervilhasse de mamíferos. Não é isso o que encontramos na realidade, mas tal possibilidade demonstra que não se pode acusar o argumento de ser circular: a qualquer momento alguém poderia desencavar um mamífero em rochas cambrianas, e se tal coisa acontecesse a teoria da evolução seria instantaneamente refutada. Em outras palavras: a evolução é uma

teoria passível de ser refutada, portanto é uma teoria científica. Retornarei a essa questão no capítulo 6.
As tentativas de criacionistas para explicar essas constatações muitas vezes chegam a ser cômicas. Noé e o Dilúvio, dizem, são a chave para compreendermos a ordem na qual encontramos os fósseis dos principais grupos de animais. Eis uma citação direta de um site criacionista premiado:

A seqüência dos fósseis em estratos geológicos mostra que:

(I) INVERTEBRADOS (animais marinhos de movimentos lentos) pereceram primeiro, seguidos pelos peixes mais móveis, que foram soterrados pelo lodo da enchente.
(II) ANFÍBIOS (próximos do mar) pereceram em seguida quando as águas subiram.
(III) RÉPTEIS (animais terrestres lentos) morreram em seguida.
(IV) MAMÍFEROS conseguiram fugir das águas que subiam, os mais rápidos sobrevivendo por mais tempo.
(V) O HOMEM usou de mais engenho para escapar da inundação, agarrando-se a troncos de árvore etc.

Essa seqüência é uma explicação perfeitamente satisfatória da ordem em que os vários fósseis são encontrados nos estratos. Essa NÃO é a ordem em que eles evoluíram, e sim a ordem na qual foram cobertos pelas águas por ocasião do Dilúvio de

Noé.

Sem falar em todas as outras razões para objetarmos a essa impressionante explicação, é certo que só poderia haver uma tendência estatística a que os mamíferos, por exemplo, tivessem em média mais habilidade para escapar das águas do que os répteis. Na verdade, como seria de esperar com base na teoria da evolução, não existe mamífero nenhum no estrato inferior do registro geológico. A teoria de "fugir para o alto dos montes" seria mais bem embasada se houvesse um decréscimo estatístico de mamíferos conforme analisássemos para as rochas inferiores. Não há nenhum trilobito acima de estratos permianos, nenhum dinossauro (exceto aves) acima de estratos cretáceos. Também aqui a teoria de "fugir para o alto dos montes" prediria um decréscimo estatístico.

Voltemos à datação e aos relógios radioativos. Como a ordem relativa dos estratos sedimentares nomeados é bem conhecida e a mesma ordem é encontrada no mundo todo, podemos usar rochas ígneas situadas acima ou abaixo de estratos sedimentares ou neles incrustadas para datar esses estratos sedimentares nomeados e, assim, os fósseis que eles encerram. Com um refinamento do método, podemos datar fósseis que jazem próximo ao topo do estrato carbonífero, por exemplo, ou do cretáceo, como fósseis que jazem um pouco mais abaixo no mesmo estrato. Não precisamos encontrar uma rocha ígnea nas vizinhanças de um dado fóssil que desejamos

datar. Podemos determinar que nosso fóssil é, digamos, do Devoniano Superior com base em sua posição em um estrato devoniano. E, pela datação radioativa de rochas ígneas encontradas em associação com estratos devonianos no mundo todo, sabemos que o Devoniano encerrou-se por volta de 360 milhões de anos atrás.

O relógio de potássio-argônio é só um de muitos relógios disponíveis aos geólogos, e todos usam o mesmo princípio em suas diferentes escalas de tempo. Acima vemos uma tabela de relógios, que vão do lento ao rápido. Note, mais uma vez, a impressionante variação das meias-vidas, de 49 bilhões de anos no extremo mais lento a menos de 6 mil anos no mais rápido. Os relógios mais rápidos, como o carbono-14, funcionam de um modo um pouco diferente. Isso porque é necessariamente diferente a maneira de "zerar" desses relógios mais velozes. Para isótopos com meia-vida curta, todos os átomos que estavam presentes quando a Terra originalmente se formou desapareceram há muito (empo. Antes de examinarmos como funciona a datação por carbono, vale a pena fazer uma pausa para refletir sobre mais uma evidência em favor de uma Terra antiga, um planeta cuja idade é medida em bilhões de anos.

Isótopo instável	Decai para	Meia vida (anos)
Rubídio-87	Estrôncio	49 000 000 000
Rênio-187	Ósmio-187	41 600 000 000
Tório-232	Chumbo-208	14 000 000 000
Urânio-238	Chumbo-206	4 500 000 000
Potássio-40	Argônio-40	1 260 000 000
Urânio-235	Chumbo-207	704 000 000
Samário-147	Neodímio-143	108 000 000
Iodo-129	Xenônio-129	17 000 000
Alumínio-26	Magnésio-26	740 000
Carbono-14	Nitrogênio-14	5730

Relógios radioativos

Entre todos os elementos que ocorrem na Terra, há 150 isótopos estáveis e 158 instáveis, num total de 308. Dos 158 instáveis, 121 estão extintos ou só existem porque são constantemente renovados, como o carbono-14 (como veremos). Se considerarmos os 37 que não se extinguiram, notaremos uma coisa significativa. Cada um deles tem meia-vida maior do que 700 milhões de anos. E se examinarmos os 121 que se extinguiram, cada um deles tem meia-vida menor do que 200 milhões de anos. Atenção para não se equivocar: lembre-se de que estamos falando em meia-vida, e não em vida! Pense no destino de um isótopo com meia-vida de 100 milhões de anos. Isótopos cuja meia-vida é menor do que aproximadamente um décimo da idade da Terra estão, na prática, extintos e não são encontrados a não ser em circunstâncias especiais. Com exceções que existem por uma razão especial que compreendemos, os únicos isótopos que encontramos na Terra são os que têm uma meia-

vida longa o suficiente para sobreviver em um planeta muito antigo. O carbono-14 é uma dessas exceções, e ele é excepcional por uma razão interes¬sante: ele é constantemente reposto. O papel do carbono-14 como relógio, portanto, tem de ser entendido de um modo diferente daquele dos isótopos de vida mais longa. Em particular, o que significa zerar o relógio?

CARBONO

De todos os elementos, o carbono é o que mais parece indispensável à vida, aquele sem o qual é mais difícil imaginar vida em qualquer planeta. Isso é devido à notável capacidade do carbono para formar cadeias, anéis e outras arquiteturas moleculares complexas. Ele entra na cadeia alimentar por meio da fotossíntese, o processo pelo qual as plantas verdes absorvem moléculas de dióxido de carbono da atmosfera e usam energia da luz solar para combinar os átomos de carbono com água para produzir açúcares. Em última análise, todo o carbono em nós e em todos os demais seres vivos provém, por intermédio das plantas, do dióxido de carbono na atmosfera. E ele é continuamente reciclado e mandado de volta à atmosfera: quando exalamos, quando excretamos e quando morremos.

A maior parte do carbono no dióxido de carbono da atmosfera é o carbono 12, que não é radioativo. Mas aproximadamente um átomo em cada trilhão é de carbono-14, e esse é radioativo. Ele decai muito rapidamente, com meia-vida de 5.730 anos,

como vimos, para nitrogênio-14. A bioquímica das plantas é cega para a diferença entre esses dois carbonos. Para uma planta, carbono é carbono é carbono. Por isso, as plantas absorvem carbono-14 junto com carbono-12 e incorporam os dois tipos de átomo de carbono em açúcares, na mesma proporção em que eles existem na atmosfera. O carbono da atmosfera que é incorporado (com a mesma proporção de átomos de carbono-14) distribui-se rapidamente (em comparação com a meia-vida do carbono-14) pela cadeia alimentar, pois as plantas são comidas por herbívoros, estes por carnívoros e assim por diante. Todos os seres vivos, animais e vegetais, têm aproximadamente idêntica razão entre carbono-12 e carbono-14, a qual é a mesma encontrada na atmosfera.

Então quando é que o relógio é zerado? No momento em que um ser vivo, animal ou vegetal, morre. Nesse momento ele é retirado da cadeia alimentar e isolado da entrada, por via das plantas, de novo carbono-14 proveniente da atmosfera. Com o passar dos séculos, o carbono-14 no corpo, pedaço de madeira, pedaço de tecido ou seja lá o que for, decai constantemente para nitrogênio-14. A razão entre carbono-14 e carbono-12 no espécime, portanto, gradualmente diminui, ficando cada vez mais abaixo da razão geral que todos os seres vivos têm em comum com a atmosfera. Por fim, haverá apenas carbono-12, ou, mais estritamente, o teor de carbono-14 estará reduzido demais para ser medido. E a razão entre o carbono-12 e o carbono-14 pode ser usada para calcular o tempo que decorreu desde a morte

da criatura removida da cadeia alimentar e de seu intercâmbio com a atmosfera.
Está tudo muito bem, mas isso só funciona porque existe na atmosfera um suprimento de carbono-14 que é constantemente reposto. Sem isso, o carbono-14, com sua meia-vida curta, já teria desaparecido da Terra há muito tempo, junto com todos os outros isótopos com meia-vida curta que ocorrem naturalmente. O carbono-14 é especial porque é produzido continuamente por raios cósmicos que bombardeiam átomos de nitrogênio na atmosfera superior. O nitrogênio é o gás mais comum na atmosfera, e seu número de massa é 14, o mesmo do carbono-14. A diferença é que o carbono-14 tem seis prótons e oito nêutrons, enquanto o nitrogênio-14 tem sete prótons e sete nêutrons (os nêutrons, lembrando, têm quase a mesma massa que os prótons). Partículas de raios cósmicos são capazes de atingir um próton em um núcleo de nitrogênio e convertê-lo em um nêutron. Quando isso ocorre, o átomo torna-se carbono-14, pois o carbono está uma casa abaixo do nitrogênio na tabela periódica. A velocidade em que se dá essa conversão é aproximadamente constante de século a século, sendo por isso que a datação por carbono funciona. Na verdade, a velocidade não é exatamente constante, e o ideal é que façamos um cálculo para compensar a variação. Por sorte temos uma calibração precisa do suprimento variável de carbono-14 na atmosfera e podemos levá-la em conta para refinar nossos cálculos de datação. Lembremos que, aproximadamente na mesma faixa de anos que é coberta pela datação

por carbono, temos um método alternativo para datar madeira, a dendrocronologia, e esta nos dá uma precisão total em número de anos. Analisando as idades de amostras de madeira datadas por carbono para as quais também possuímos datação baseada nos anéis de árvore, podemos calibrar os erros de variação na datação por carbono. Em seguida, podemos usar essas medições de calibração quando voltarmos às amostras orgânicas para as quais não possuímos datação por anéis de árvore (a maioria).

A datação por carbono é uma invenção comparativamente recente, iniciada nos anos 1940. No começo, os procedimentos da datação requeriam quantidades substanciais de material orgânico. Mas nos anos 1970 uma técnica chamada espectometria de massa foi adaptada para a datação por carbono, e graças a isso hoje é preciso apenas uma minúscula quantidade de material orgânico. Essa nova técnica revolucionou a datação arqueológica. O exemplo mais célebre é o do Sudário de Turim. Como esse famoso pedaço de tecido parece, misteriosamente, conter a imagem impressa de um homem de barba crucificado, muita gente esperava que ele proviesse do tempo de Jesus. Ele apareceu pela primeira vez no registro histórico em meados do século XIV na França, e ninguém sabe onde estava antes disso. Ficou guardado em Turim desde 1578, sob custódia do Vaticano a partir de 1983. Quando a espectometria de massa tornou possível datar uma amostra minúscula do sudário, dispensando os grandes pedaços de pano que antes seriam

necessários, o Vaticano autorizou o corte de uma pequena faixa. Essa faixa foi dividida em três partes, enviadas a três importantes laboratórios especializados em datação por carbono, situados em Oxford, Arizona e Zurique. Trabalhando em condições de escrupulosa independência — sem comparar notas —, os três laboratórios entregaram seu veredicto sobre a data em que o linho do qual o tecido era feito havia morrido. Oxford disse 1200 d.C., Arizona, 1304 d.C., e Zurique, 1274 d.C. Todas essas datas, dentro de margens de erro normais, são compatíveis entre si e com a data dos anos 1350 em que o sudário foi pela primeira vez mencionado na história. A datação do sudário permanece polêmica, mas não por razões que lancem alguma dúvida sobre a técnica da datação por carbono em si. Por exemplo, o carbono do sudário poderia ter sido contaminado por um incêndio que sabidamente ocorreu em 1532. Não me estenderei nessa questão, pois o sudário é de interesse histórico, e não evolucionário. Mas ele é um bom exemplo para ilustrar o método e o fato de que, ao contrário da dendrocronologia, ele não nos dá uma exatidão em anos, apenas em aproximadamente um século.

Venho salientando repetidamente que existem vários relógios à disposição dos detetives evolucionários modernos, e também que eles funcionam melhor em escalas de tempo diferentes mas que podem ser sobrepostas. Os relógios radioativos podem ser usados para fornecer estimativas independentes da idade de um pedaço de rocha, tendo em mente que todos os relógios

foram zerados simultaneamente no momento em que esse pedaço de rocha solidificou-se. Quando são feitas essas comparações, os diferentes relógios concordam uns com os outros — dentro das esperadas margens de erro. Isso nos dá grande confiança quanto à correção dos relógios. Com essa calibragem recíproca e comprovação baseada em rochas conhecidas, esses relógios podem então ser incumbidos, confiavelmente, de resolver interessantes problemas de datação, como o da idade da própria Terra. A idade atualmente aceita de 4,6 bilhões de anos é a estimativa para a qual convergem vários relógios distintos. Essa concordância não surpreende, mas infelizmente precisamos enfatizá-la porque, para nosso espanto, como salientei na introdução (e documentei no apêndice), cerca de 40% da população americana e uma porcentagem um pouco menor da população britânica dizem acreditar que a idade da Terra, longe de ser medida em bilhões de anos, é inferior a 10 mil anos. Lastimávelmente, sobretudo nos Estados Unidos e em boa parte do mundo islâmico, alguns desses negadores da história têm poder sobre escolas e seus currículos.

Um negador da história poderia argumentar, por exemplo, que há algo de errado com o relógio de potássio-argônio. E se a atual taxa de desintegração muito lenta do potássio-40 só tiver entrado em vigor a partir do Dilúvio? E se, antes disso, a meia-vida do potássio-40 fosse radicalmente diferente, digamos que apenas alguns séculos em vez de 1,26 bilhão de anos? O

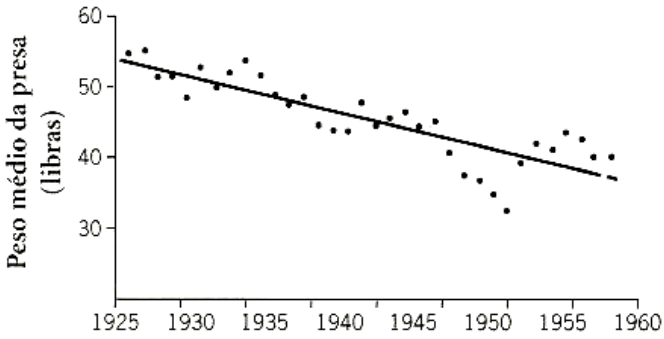
sofisma é gritante nessas alegações. Por que raios as leis da física haveriam de mudar, sem mais nem menos, de um modo tão abrangente e tão conveniente? E fica ainda mais gritante quando é preciso apresentar alegações de exceção mutuamente ajustadas para cada um dos relógios separadamente. No presente, todos os isótopos aplicáveis concordam uns com os outros em situar a origem da Terra entre 4 e 5 bilhões de anos atrás. E fazem isso com base na suposição de que suas meias-vidas sempre foram iguais às medidas atualmente — como, aliás, as leis da física conhecidas indicam fortemente que ocorre. Os negadores da história teriam de desvirtuar as meias-vidas de todos os isótopos em suas separadas proporções para que todos acabassem por concordar que a Terra nasceu há 6 mil anos. Maior alegação de exceção do que essa eu nunca vi! E olhe que nem mencionei vários outros métodos de datação que também fornecem os mesmos resultados, como o da "datação por traços de fissão". Leve em conta as enormes diferenças nas escalas de tempo dos diferentes relógios e pense na quantidade de desvirtuações complexas e forçadas das leis da física que seriam necessárias para fazer todos esses relógios concordarem uns com os outros, ao longo das ordens de grandeza, para que a Terra tivesse 6 mil anos em vez de 4,6 bilhões! Considerando que o único motivo para tamanha deturpação é o desejo de sustentar o mito de origem de um grupo específico de membros de tribo do deserto da Idade do Bronze, é surpreendente, para dizer o

mínimo, que alguém se deixe enganar por ele.
Existe mais um tipo de relógio evolucionário, o relógio molecular, mas deixarei seu exame para o capítulo 10, depois de ter introduzido algumas outras idéias sobre genética molecular.

5. Bem diante dos nossos olhos

Usei a metáfora do detetive que chega à cena do crime depois que tudo já aconteceu e, com as pistas disponíveis, reconstitui o que deve ter se passado. Mas talvez eu tenha sido precipitado ao admitir a impossibilidade de testemunhar pessoalmente a evolução. Embora a imensa maioria da mudança evolucionária tenha ocorrido antes de qualquer ser humano existir, alguns exemplos são tão rápidos que podemos ver a evolução acontecer com nossos próprios olhos durante o tempo de vida de um ser humano.
Há um indício plausível de que isso pode ter acontecido até com o elefante, uma criatura que o próprio Darwin apontou como um dos animais de reprodução mais lenta, com um dos mais longos períodos de renovação geracional. Uma das principais causas de mortalidade entre os elefantes africanos são os homens; eles os caçam com rifles para extrair suas presas, cujo marfim é vendido para ser esculpido ou servir como troféu de caça. Naturalmente, os caçadores tendem a escolher os indivíduos com as maiores presas. Isso significa que, ao menos em teoria, indivíduos com presas menores terão uma vantagem seletiva. Como sempre acontece na evolução, haverá

pressões seletivas conflitantes, e o que veremos evoluir será um meio-termo. Os animais de presas maiores certamente têm uma vantagem na competição com outros elefantes, e ela será contrabalançada quando esses animais encontrarem homens armados. Qualquer aumento na atividade de caça, seja na forma ilegal, seja na legal, tenderá a fazer a balança pender para o lado das presas menores. Sendo tudo o mais igual, poderíamos esperar uma tendência evolucionária a presas menores em decorrência da caça humana, mas provavelmente suporíamos que isso levasse milênios para ser detectável. Não esperaríamos presenciar o fato ao longo da vida de um indivíduo. Entretanto, vejamos alguns números.



Peso de presas de elefantes ugandenses

O gráfico acima contém dados do Departamento de Caça de Uganda, publicados em 1962. Referindo-se apenas a elefantes abatidos legalmente por caçadores autorizados, os dados trazem o peso médio das presas em libra (unidade

de massa obsoleta) de ano a ano entre 1925 e 1958 (nesse período Uganda foi protetorado britânico). Os pontos representam números anuais. A linha através dos pontos é traçada não a olho, mas com base em uma técnica estatística chamada regressão linear. Pode-se ver que há uma tendência decrescente ao longo dos 33 anos. E que a tendência é estatisticamente muito significante, o que quer dizer que ela é quase com certeza uma tendência real, e não um efeito fortuito, aleatório.

O fato de existir uma tendência estatisticamente significante à diminuição das presas não necessariamente significa que seja uma tendência evolucionária. Se traçássemos um gráfico da altura média de homens de vinte anos durante o século XX de ano a ano, veríamos, para muitos países, uma tendência significante ao aumento de altura. Normalmente isso é reconhecido não como uma tendência evolucionária, mas como um efeito de melhor nutrição. No entanto, no caso dos elefantes temos boas razões para aventar a existência de acentuada seleção contra as presas maiores. Reflita que, embora o gráfico represente as presas obtidas por abate legal, a pressão seletiva que produziu a tendência poderia muito bem ter derivado da caça ilegal. Devemos cogitar seriamente a possibilidade de que ela seja uma verdadeira tendência evolucionária e, nesse caso, ela é notavelmente pronunciada. Temos de ter cautela antes de concluir tanto. Poderia acontecer de estarmos observando uma forte seleção natural, que tem grande probabilidade de resultar

em mudanças nas frequências de genes na população, mas esses efeitos genéticos até agora não foram demonstrados. Poderia acontecer que a diferença entre os elefantes com presas grandes e os com presas pequenas fosse uma diferença não genética. Não obstante, estou inclinado a cogitar seriamente a possibilidade de que essa seja uma verdadeira tendência evolucionária.

Mais a propósito, meu colega, dr. Iain Douglas-Hamilton, que é a autoridade mundial em populações selvagens de elefantes africanos, aposta nessa tendência e acha, sem dúvida com razão, que ela deve ser examinada mais a fundo. Ele desconfia que a tendência começou muito antes de 1925 e prosseguiu depois de 1958. Tem razões para supor que a mesma causa, atuando no passado, explica a ausência de presas em muitas populações locais de elefantes asiáticos. Ao que parece, temos um caso prima fade de evolução rápida acontecendo bem diante dos nossos olhos, um caso que compensaria pesquisas adicionais.

Vejamos agora outro caso, para o qual dispomos de fascinantes estudos recentes: o dos lagartos em ilhas do Adriático.

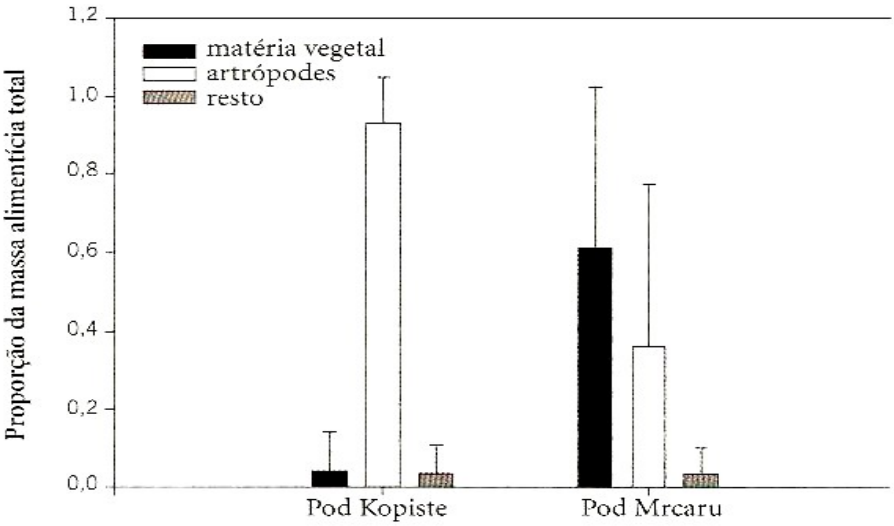
OS LAGARTOS DE POD MRCARU

Nas águas litorâneas da Croácia há duas ilhotas chamadas Pod Kopiste e Pod Mrcaru. Em 1971 existia em Pod Kopiste, mas não em Pod Mrcaru, uma população de lagartos da espécie *Podarcis sicula*, que se alimentam sobretudo de insetos e são comuns no Mediterrâneo. Nesse ano,

pesquisadores transportaram cinco pares de *Podarcis sicula* de Pod Kopiste para Pod Mrcaru. Em 2008, outro grupo de cientistas, a maioria deles belga, associados a Anthony Herrel, foi às ilhas verificar o que tinha acontecido. Encontraram uma florescente população de lagartos em Pod Mrcaru, cuja análise de DNA confirmou serem realmente Pod sicula. Presume-se que sejam descendentes dos cinco pares originalmente levados para a ilha. Herrel e seus colegas estudaram os descendentes dos lagartos transportados e compararam suas observações com dados sobre os lagartos que vivem na ilha ancestral de origem. As diferenças encontradas foram marcantes. Os cientistas fizeram a hipótese provavelmente justificada de que os lagartos na ilha ancestral, Pod Kopiste, eram representantes inalterados dos lagartos ancestrais de 36 anos antes. Em outras palavras, supuseram que estavam comparando os lagartos de Pod Mrcaru, que haviam evoluído, com seus "ancestrais" de Pod Kopiste, que não haviam evoluído (ou seja, eram seus contemporâneos, porém do tipo ancestral). Mesmo se essa suposição for incorreta — mesmo se, por exemplo, os lagartos de Pod Kopiste estivessem evoluindo à mesma velocidade que os lagartos de Pod Mrcaru —, ainda assim estamos observando divergência evolucionária na natureza em uma escala temporal de décadas: o tipo de escala temporal que os humanos podem observar durante o tempo de vida de uma pessoa.

E quais eram as diferenças entre as populações das duas ilhas, diferenças que haviam demorado

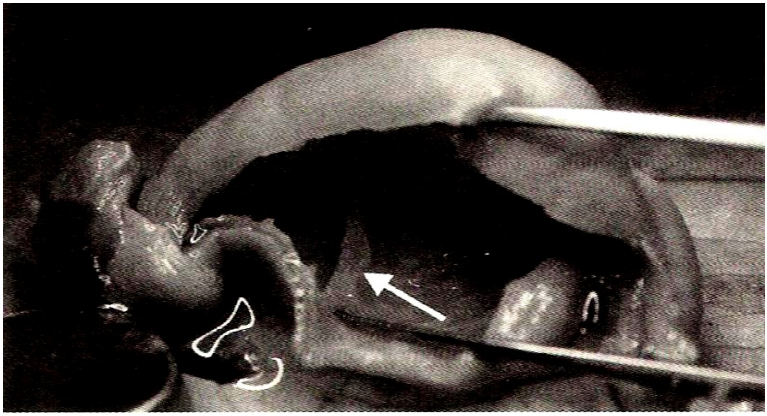
apenas 37 anos para evoluir? Os lagartos de Pod Mrcaru — a população "que evoluiu" — tinham a cabeça significativamente maior do que a população "original" de Pod Kopiste: cabeça mais alongada, mais larga e mais alta. Isso se traduz em uma mordida acentuadamente mais forte. Em geral, uma mudança desse tipo acompanha uma mudança para uma dieta mais vegetariana. De fato, os lagartos de Pod Mrcaru comem significativamente mais matéria vegetal do que o tipo "ancestral" de Pod Kopiste. Da dieta quase exclusiva de insetos (artrópodes, como indicado no gráfico a seguir) ainda mantida pela população atual de Pod Kopiste, os lagartos de Pod Mrcaru mudaram para uma dieta predominantemente vegetariana, especialmente no verão.



Dieta de verão de lagartos em duas ilhas do Adriático

Por que um animal precisaria de uma mordida

mais forte ao passar para uma dieta vegetariana? Porque as paredes das células vegetais, mas não das animais, são enrijecidas pela celulose. Mamíferos herbívoros como o cavalo, o boi e o elefante possuem grandes dentes moedores para triturar a celulose, bem diferentes dos dentes rasgadores dos carnívoros e dos dentes aciculados dos insetívoros. E têm grandes músculos mandibulares e crânios correspondentemente robustos para comportar as ligações musculares (pense na avantajada crista na parte superior média do crânio dos gorilas). Vegetarianos também apresentam singularidades no trato digestivo. De modo geral, animais não podem digerir celulose sem a ajuda de bactérias ou outros micro-organismos, e muitos vertebrados reservam um beco sem saída no intestino, o ceco, que abriga essas bactérias e serve de câmara de fermentação (o nosso apêndice é um vestígio do ceco mais avantajado dos nossos ancestrais mais vegetarianos). O ceco, assim como outras partes do intestino, pode tornar-se bastante complexo em herbívoros especialistas. Carnívoros geralmente possuem intestinos mais simples que os dos herbívoros, além de menores. Entre as complicações inseridas nos intestinos de herbívoros estão as válvulas cecais. Válvulas são compartimentos incompletos, às vezes musculares, que podem servir para regular ou desacelerar o fluxo de material pelo intestino, ou simplesmente aumentar a área da superfície interior do ceco.



Válvula cecal

A figura acima mostra o ceco cortado e aberto de uma espécie aparentada de lagarto que come muita matéria vegetal. A válvula está indicada pela seta. Pois bem: o fato fascinante é que, embora normalmente não ocorram válvulas cecais no *Podaris sicula* e elas sejam raras na família à qual ele pertence, tais válvulas começaram a evoluir na população de P. sicula em Pod Mrcaru, a população que, apenas nos últimos 37 anos, vem evoluindo para a dieta herbívora. Os pesquisadores descobriram outras mudanças evolucionárias nos lagartos de Pod Mrcaru. A densidade populacional aumentou, e os lagartos deixaram de defender territórios como fazia a população "ancestral" de Pod Kopiste. Devo repetir que a única coisa realmente excepcional em toda essa história, e a razão de eu a estar contando aqui, é que tudo isso aconteceu extremamente depressa, em questão de décadas: evolução bem diante dos nossos olhos.

QUARENTA E CINCO MIL GERAÇÕES DE EVOLUÇÃO EM LABORATÓRIO

A renovação geracional média desses lagartos dá-se em aproximadamente dois anos; portanto, a mudança evolucionária observada em Pod Mrcaru representa apenas cerca de dezoito ou dezenove gerações. Imagine o que poderíamos ver em três ou quatro décadas se acompanhássemos a evolução de bactérias, cujas gerações são medidas em horas ou até em minutos, em vez de anos! As bactérias oferecem outro presente inestimável ao evolucionista. Em alguns casos, podemos congelá-las por tempo indefinido e trazê-las de volta à vida, e elas reiniciam a reprodução como se nada houvesse acontecido. Isso significa que os pesquisadores podem estabelecer seu próprio "registro fóssil vivo", um instantâneo do ponto exato que o processo evolucionário atingiu em qualquer momento desejado. Imagine se pudéssemos descongelar Lucy, o magnífico fóssil pré-humano descoberto por Don Johanson, trazê-la de volta à vida e pôr sua espécie novamente para evoluir! Tudo isso foi realizado com a bactéria Escherichia coli, em um espetacular experimento de longo prazo do bacteriologista Richard Lenski e seus colegas na Universidade do Estado de Michigan. Hoje em dia a pesquisa científica é, em grande medida, um trabalho em equipe. Na exposição a seguir, usarei o nome "Lenski" em atenção à brevidade, mas leia-se "Lenski e seus colegas e alunos em seu laboratório". Como veremos, os experimentos de Lenski afligem os

criacionistas, e por uma razão muito boa. Eles são uma bela demonstração da evolução em andamento, algo difícil de desconsiderar mesmo para quem tem motivações muito fortes. E a motivação dos criacionistas ferrenhos é descomunal. Retornarei a esse assunto no fim da seção.

A E. coli é uma bactéria comum. Comuníssima. Existem cerca de 100 bilhões de bilhões delas no mundo em qualquer dado momento, das quais cerca de 1 bilhão, pelos cálculos de Lenski, você abriga no seu intestino grosso neste exato minuto. A maioria delas é inofensiva ou até benéfica, mas ocasionalmente cepas nocivas ganham as manchetes. Essa inovação evolucionária periódica não é de surpreender se fizermos as contas, apesar de as mutações serem eventos raros. Se supusermos que a probabilidade de um gene sofrer mutação durante um ato de reprodução bacteriana é tão pequena quanto uma em 1 bilhão, os números de bactérias são tão colossais que praticamente cada gene do genoma terá sofrido mutação em alguma parte do mundo todo dia. Como diz Richard Lenski, "isso é bastante oportunidade para a evolução".

Lenski e seus colegas exploraram essa oportunidade de modo controlado, em laboratório. Seu trabalho é extremamente minucioso e cuidadoso em todos os detalhes. Os detalhes contribuem muito para o impacto da evidência da evolução que esses experimentos fornecem, por isso não economizarei na explicação. Isso significa que as próximas páginas serão inevitavelmente

um tanto complexas — não difíceis, apenas ricas em minúcias intricadas. Talvez seja aconselhável não ler esta seção do livro em um momento de cansaço, no fim de um longo dia. O que facilita a compreensão é o fato de que cada pormenor faz sentido. Nenhum nos deixa confusos, tentando decifrar sua função. Por isso, queira me acompanhar, passo a passo, por esse esplendidamente elaborado e elegantemente executado conjunto de experimentos.

Essas bactérias reproduzem-se assexuadamente — por divisão celular simples —, por isso é fácil clonar uma enorme população de indivíduos geneticamente idênticos em pouco tempo. Em 1988, Lenski usou uma população desse tipo e infectou doze frascos idênticos, todos contendo o mesmo caldo nutritivo, incluindo glicose como a fonte vital de alimento. Os doze frascos, cada qual com sua população fundadora de bactérias, foram então postos em uma "incubadora de agitação", onde foram mantidos devidamente aquecidos e eram agitados a fim de manter as bactérias bem distribuídas por todo o líquido. Esses doze frascos fundaram doze linhagens de evolução que foram destinadas a manter-se separadas umas das outras por duas décadas no mínimo: uma espécie de doze tribos de Israel, com a diferença de que, no caso das tribos de Israel, não havia lei contra misturarem-se.

As doze tribos de bactérias não foram mantidas nos mesmos doze frascos todo o tempo. Ao contrário, cada tribo ganhou um novo frasco por dia. Imagine doze linhas de frascos, estendendo-se

à distância, cada linha com mais de 7 mil frascos! Cada dia, para cada uma das doze tribos, um novo frasco virgem era infectado com líquido do frasco da véspera. Uma pequena amostra, exatamente um centésimo do volume do frasco antigo, era extraída e injetada no novo frasco, que continha um novo suprimento de caldo rico em glicose. A população de bactérias no frasco começava então a aumentar explosivamente, mas sempre era estabilizada no dia seguinte, quando o suprimento de alimento acabava e a fome se fazia sentir. Em outras palavras, a população de cada frasco se multiplicava colossalmente, atingia um platô e nesse ponto era extraída uma nova amostra infecciosa, e o ciclo renovava-se no dia seguinte. Portanto, milhares de vezes ao longo de seu equivalente em alta velocidade do tempo geológico, essas bactérias passaram pelos mesmos ciclos, diariamente repetidos, de expansão pela fartura, seguida por fome, das quais um afortunado centésimo era salvo e levado, como em uma Arca de Noé de vidro, para uma nova (mas também temporária) fartura de glicose; condições perfeitas, perfeitíssimas para a evolução e, o que é melhor, o experimento foi realizado paralelamente com doze linhagens separadas.

Até hoje, por mais de vinte anos, Lenski e sua equipe vêm prosseguindo nessa rotina diária. Isso significa aproximadamente 7 mil "gerações de frascos" e 45 mil gerações de bactérias — em média entre seis e sete gerações bacterianas diárias. Pondo isso em perspectiva, imagine se pudéssemos voltar no passado por 45 mil

gerações humanas: pararíamos em cerca de 1 milhão de anos atrás, na época do Homo erectus, o que não é um tempo muito grande. Assim, seja qual for a mudança evolucionária que Lenski possa ter registrado no equivalente de 1 milhão de anos de gerações bacterianas, pense em quanta evolução a mais poderia ocorrer em, digamos, 100 milhões de anos de evolução nos mamíferos. E mesmo 100 milhões de anos é um tempo comparativamente recente, pelos padrões geológicos.

Juntamente com o principal experimento sobre a evolução, o grupo de Lenski usou as bactérias para vários experimentos derivados muito esclarecedores. Depois de 2 mil gerações, por exemplo, eles substituíram a glicose por outro açúcar, maltose, mas prefiro concentrar-me no experimento central, que usou glicose o tempo todo. Os pesquisadores extraíram amostras das doze tribos em intervalos ao longo dos vinte anos, para ver como a evolução progredia. Também congelaram amostras de cada uma das tribos como fonte de "fósseis" ressuscitáveis, representativos de pontos estratégicos no caminho evolucionário. A concepção dessa série de experimentos é nada menos que brilhante.

Vejamos um pequeno exemplo do excelente planejamento. Eu disse que os doze frascos fundadores foram semeados a partir de um mesmo clone e, portanto, começaram geneticamente idênticos. Mas não foi exatamente assim, por uma razão interessante e sagaz. O laboratório de Lenski havia estudado previamente

um gene chamado ara que ocorre em duas formas, Ara+ e Ara-. Só é possível distinguir um do outro extraindo uma amostra das bactérias e incubando-as, segundo a técnica conhecida como plating out, sobre uma placa de ágar que contém um caldo nutritivo enriquecido com o açúcar arabinose e um corante químico chamado tetrazolium. O plating out é uma técnica dos bacteriologislas que consiste em pôr uma gota de líquido contendo bactérias em uma placa coberta com uma fina camada de ágar e incubar a placa. As colônias de bactérias expandem-se em círculos lembrando o estilo de crescimento dos cogumelos conhecidos como "anéis de fada" — a partir das gotas de líquido, alimentando-se dos nutrientes misturados ao ágar. Se a mistura contiver arabinose e o corante indicador, a diferença entre Ara+ e Ara- é revelada, como quando aquecemos tinta invisível: as colônias aparecem respectivamente em branco e vermelho. A equipe de Lenski usou essa distinção de cores para fins de rotulagem, como veremos, e previu essa utilidade compondo suas doze tribos com seis Ara+ e seis Ara-. Só para dar um exemplo de como eles exploraram a codificação por cor das bactérias, direi que eles a usaram para checar seus procedimentos laboratoriais. Quando realizavam seu ritual diário de infectar novos frascos, tinham o cuidado de manusear os frascos de Ara+ e Ara- alternadamente. Ou seja, se por acaso cometessem um erro — deixassem espirrar líquido em uma pipeta transferidora, ou coisa parecida — isso apareceria depois, quando eles fizessem o

teste do vermelho/ branco nas amostras. Engenhoso? Sim. E escrupuloso. Cientistas bons de verdade têm de ser as duas coisas.

Mas vamos esquecer os Ara+ e os Ara- por enquanto. Em todos os outros aspectos, as populações fundadoras das doze tribos começaram idênticas. Não foram detectadas outras diferenças entre Ara+ e Ara-, por isso eles realmente poderiam ser tratados como marcadores de cor convencionais, como os empregados pelos ornitólogos, que põem anéis coloridos nas pernas de aves.

Pois bem. Temos nossas doze tribos, marchando paralelamente através de seu equivalente de alta velocidade do tempo geológico, nas mesmas condições de fartura e escassez repetidas. A questão interessante era: elas se manteriam iguais a seus ancestrais? Ou evoluiriam? E, se evoluíssem, todas as doze tribos evoluiriam do mesmo modo ou divergiriam umas das outras?

O caldo, como já mencionei, continha glicose. Esse não era o único alimento, mas era o recurso limitador. Isso significa que a escassez de glicose era o fator fundamental que diariamente levava o tamanho da população em cada frasco a parar de aumentar e atingir um platô. Analisando de outra maneira: se os pesquisadores houvessem posto mais glicose nos frascos diários, o platô da população no fim do dia teria sido mais alto. Ou, se houvessem adicionado uma segunda dose de glicose após o platô ter sido atingido, teriam testemunhado uma segunda explosão de crescimento da população até um novo platô.

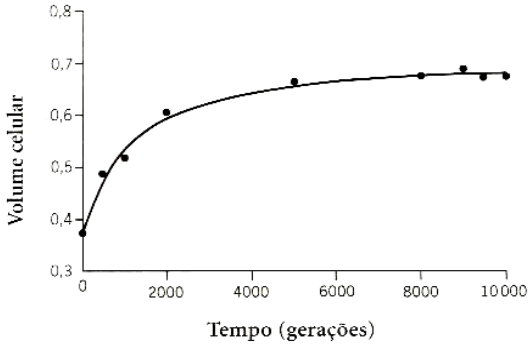
Nessas condições, a previsão darwiniana era que, se surgisse alguma mutação que ajudasse uma bactéria individual a explorar mais eficientemente a glicose, a seleção natural a favoreceria, e ela se disseminaria por todo o frasco conforme os indivíduos mutantes se reproduzissem mais do que os não mutantes. O tipo dessa bactéria infectaria desproporcionalmente o frasco seguinte da linhagem e, à medida que os frascos se sucedessem, logo as mutantes ganhariam o monopólio de sua tribo. Pois foi exatamente isso que ocorreu em todas as doze tribos. Com o passar das "gerações de frascos", todas as doze linhagens melhoraram em relação a seus ancestrais: tornaram-se mais eficientes no uso da glicose como fonte de alimento. Mas o fascinante foi que elas melhoraram de modos diferentes, ou seja, diferentes tribos apresentaram diferentes conjuntos de mutações.

Como é que os cientistas souberam disso? Eles puderam perceber extraindo amostras das linhagens à medida que elas evoluíam e comparando a "aptidão" de cada amostra com a de amostras "fósseis" da população fundadora original. Lembremos que esses "fósseis" são amostras congeladas de bactérias que, quando descongeladas, continuam a viver e se reproduzir normal¬mente. E como Lenski e seus colegas faziam essa comparação de "aptidão"? Como eles comparavam as bactérias "modernas" com suas ancestrais "fósseis"? De um modo muito engenhoso. Extraíam uma amostra da população supostamente evoluída e colocavam-na em um

frasco virgem. E punham uma amostra do mesmo tamanho da população ancestral descongelada no mesmo frasco. Não é preciso dizer que esses frascos experimentalmente misturados eram, dali por diante, totalmente removidos do contato com as linhagens contínuas das doze tribos no experimento de evolução de longo prazo. Esse experimento secundário foi feito com amostras que não tiveram mais nenhum papel no experimento principal.

Pois bem. Temos um novo frasco experimental contendo duas linhagens concorrentes, a "moderna" e a "fóssil vivo", e queremos saber qual das duas superará a outra numericamente na população. Mas se estão misturadas, como saber? Como distinguir duas cepas quando elas estão misturadas no "frasco da competição"? Eu já disse que o experimento é engenhoso. Lembra-se da codificação por cores, com os "vermelhos" (Ara-) e os "brancos" (Ara+)? Ora, se quisermos comparar a aptidão, da Tribo 5, por exemplo, com a da população fóssil ancestral, o que devemos fazer? Suponhamos que a Tribo 5 seja Ara+. Basta assegurar que os "fósseis ancestrais" com os quais agora comparamos a Tribo 5 sejam Ara-. E se por acaso a Tribo 6 for Ara-, os "fósseis" que escolheríamos descongelar e misturar seriam Ara+. Os próprios genes Ara+ e Ara-, como a equipe de Lenski já sabia graças a seus estudos anteriores, não têm efeito sobre a aptidão. Assim, eles puderam usar os marcadores de cor para avaliar as habilidades competitivas de cada uma das tribos em evolução, usando "ancestrais"

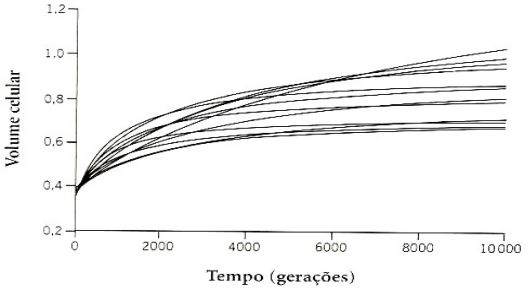
fossilizados como padrão competitivo em cada caso. Bastou incubar amostras dos frascos misturados e ver quantas das bactérias crescendo no ágar eram brancas e quantas eram vermelhas.
Como eu disse, em todas as doze tribos a aptidão média aumentou no decorrer dos milhares de gerações. Todas as doze linhagens tornaram-se mais aptas a sobreviver naquelas condições de limitação de glicose. O aumento de aptidão poderia ser atribuído a várias mudanças. Nas doze linhagens as populações cresceram mais rápido em sucessivos frascos, e o tamanho corporal médio das bactérias aumentou. O primeiro dos gráficos a seguir indica o tamanho corporal médio das bactérias para uma das tribos que era típica. Os glóbulos representam pontos de dados reais. A curva traçada é uma aproximação matemática. Ela fornece o melhor ajuste aos dados observados para esse tipo específico de curva, chamado hipérbole. Sempre é possível que uma função matemática mais complicada do que a hipérbole forneça um ajuste ainda melhor aos dados, mas essa hipérbole dá bem conta do recado, por isso parece não valer a pena tentar outra. Os biólogos costumam ajustar curvas matemáticas a dados observados, mas, ao contrário dos físicos, eles não estão acostumados a ver um ajuste tão estrito. Normalmente nossos dados são muito confusos. Na biologia, em contraste com as ciências físicas, só esperamos obter curvas bem delineadas quando temos uma quantidade muito grande de dados coligidos em condições escrupulosamente controladas. O estudo de Lenski é um clássico.



Experimento de Lenski: tamanho do corpo das bactérias em uma tribo

Pode-se ver que a maior parte do aumento de tamanho corporal ocorreu nas primeiras 2 mil gerações aproximadamente. A próxima questão interessante é: uma vez que todas as doze tribos tiveram o tamanho corporal aumentado ao longo do tempo evolucionário, será que todas cresceram da mesma maneira, pela mesma rota genética?
Não, e esse é o segundo resultado interessante. O primeiro dos gráficos representa uma das doze tribos. Agora observe os melhores ajustes hiperbólicos equivalentes para todas as doze (no segundo gráfico). Note como as curvas estão dispersas. Todas parecem estar se aproximando de um platô, porém o mais alto dos doze platôs é quase duas vezes mais alto do que o mais baixo. E as curvas têm formas diferentes: a que atinge o valor mais elevado aproximadamente na geração 10 mil começa a crescer mais lentamente do que algumas das outras e depois as ultrapassa antes da geração 7 mil. A propósito, não confunda esses platôs com os platôs diários de tamanho de população dentro de cada frasco. Agora estamos

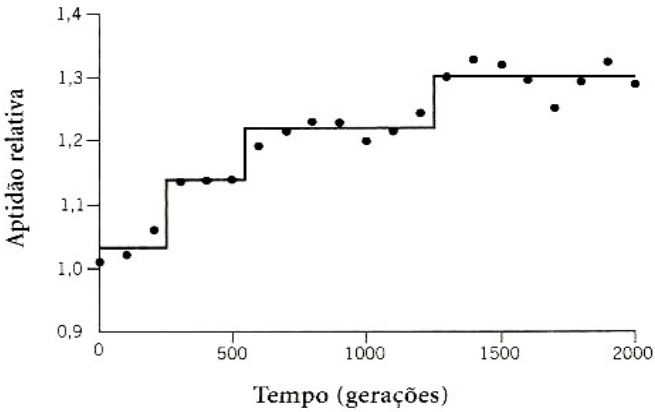
examinando curvas no tempo evolucionário, medido em gerações de frascos, e não tempo bacteriano individual, medido em horas dentro de um frasco.



Experimento de Lenski: tamanho do corpo das bactérias nas doze tribos

O que essa mudança evolucionária sugere é que, por alguma razão, aumentar de tamanho é uma boa idéia quando se está lutando para sobreviver nesse meio rico/pobre em glicose. Não farei conjecturas sobre por que o tamanho corporal maior poderia ser uma vantagem. Há muitas possibilidades, mas ao que parece tinha de ter sido assim, pois ocorreu com todas as doze tribos. No entanto, há muitos modos diferentes de aumentar de tamanho — diferentes conjuntos de mutações — e parece que diferentes modos foram descobertos por diferentes linhagens evolucionárias nesse experimento. Isso é bem interessante. Mas talvez ainda mais interessante seja que às vezes um par de tribos parece ter descoberto independentemente o mesmo modo de aumentar de tamanho. Lenski e outro grupo de colegas investigaram esse fenômeno. Pegaram duas das tribos, chamadas Ara+1 e Ara-1, que depois de 20 mil gerações pareciam ter seguido a

mesma trajetória evolucionária, e examinaram seu DNA. O espantoso resultado a que chegaram foi que 59 genes haviam mudado seus níveis de expressão em ambas as tribos e todos os 59 haviam mudado na mesma direção. Não fosse pela seleção natural, esse paralelismo independente em 59 genes, cada um por si, seria inacreditável. A probabilidade de isso ocorrer por acaso é estarrecedoramente ínfima. É bem o tipo de coisa que os criacionistas afirmam ser impossível de acontecer, pois para eles é improvável demais para ocorrer por acaso. No entanto, aconteceu realmente. E a explicação, é claro, é que não ocorreu por acaso, e sim graças à seleção natural gradual, passo a passo, cumulativa, favorecida pelas mesmas — literalmente idênticas — mudanças benéficas nas duas linhagens independentemente.



Experimento de Lenski: aumento da aptidão

A bem delineada curva no gráfico do aumento de tamanho das células no decorrer das gerações

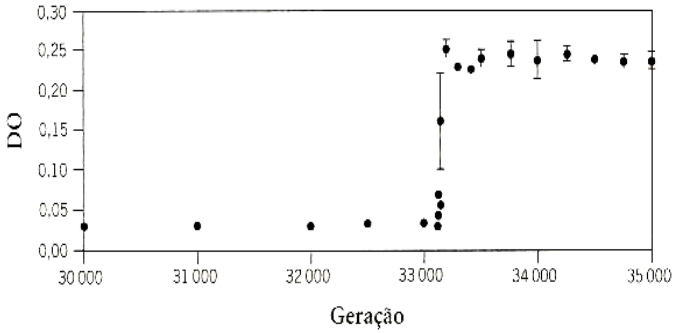
corrobora a ideia de que a melhora é gradual. Mas não será gradual demais? Não seria de esperar que pudéssemos ver os passos, conforme a população "aguarda" até que a próxima mutação para melhor aconteça? Não necessariamente. Isso depende de fatores como o número de mutações envolvidas, a magnitude do efeito de cada mutação, as variações no tamanho celular que são causadas por outras influências que não os genes e a frequência com que se fizeram as amostragens de bactérias. E é interessante que, se analisarmos o gráfico do aumento de aptidão, em contraste com o do tamanho das células, veremos o que poderia pelo menos ser interpretado como uma figura mais claramente graduada (acima). Você deve lembrar que, quando introduzi a hipérbole, eu disse que talvez fosse possível encontrar uma função matemática mais complexa que se ajustasse melhor aos dados. Os matemáticos chamam isso de "modelo". Podemos ajustar um modelo hiperbólico a esses pontos, como no gráfico anterior, mas conseguiremos um ajuste ainda melhor com um "modelo de degraus", como o usado nesta figura. Não é um ajuste tão estrito como o ajuste do gráfico do tamanho celular à hipérbole. Em nenhum dos casos se pode provar que os dados se ajustam exatamente ao modelo, e isso nunca é possível. Mas os dados são pelo menos compatíveis com a ideia de que a mudança evolucionária que observamos representa a acumulação de mutações passo a passo.

Vimos até aqui uma bela demonstração de evolução em andamento: evolução bem diante dos

nossos olhos, documentada na comparação de doze linhagens independentes e também na comparação de cada linhagem com "fósseis vivos" que na realidade, e não apenas metaforicamente, vêm do passado.

Agora estamos prontos para examinar um resultado ainda mais interessante. Até aqui dei a entender que todas as doze tribos alcançaram sua maior aptidão evoluindo de um mesmo modo geral e diferindo apenas em detalhes: algumas mais rápido, outras mais devagar. No entanto, o experimento de longo prazo resultou em uma impressionante exceção. Pouco depois da geração 33.000, algo extraordinário ocorreu. Uma das doze linhagens, chamada de Ara-3, destrambelhou de repente. Observe o gráfico a seguir. O eixo vertical, DO, que representa a densidade óptica ou "nebulosidade", é uma medida do tamanho da população no frasco. O número de bactérias é tão grande que turva o líquido; a densidade da nuvem pode ser medida numericamente, e o número obtido é o nosso índice de densidade populacional. Vemos que até mais ou menos a geração 33.000, a densidade populacional média da Tribo Ara-3 não diferia muito da encontrada nas demais tribos, situando-se por volta de 0,04 em DO. Mas logo depois da geração 33.100, os valores em DO da Tribo Ara-3 (e só dela, entre as doze) decolaram na vertical. Sextuplicaram e ficaram em torno de 0,25. As populações dos sucessivos frascos dessa tribo tiveram uma explosão numérica. Depois de apenas alguns dias, o típico platô no qual os frascos dessa tribo se estabilizavam apresentava

um valor em DO que era cerca de seis vezes maior do que anteriormente, e do que todas as outras tribos continuavam a apresentar. Esse platô mais elevado foi então atingido em todas as gerações subsequentes, nessa tribo mas em nenhuma outra. Foi como se uma grande dose extra de glicose houvesse sido injetada em cada frasco da Tribo Ara-3 e em mais nenhuma outra tribo. Só que isso não ocorrera. A mesma ração de glicose havia sido escrupulosamente ministrada a todos os frascos igualmente.



Experimento de Lenski: densidade populacional

O que estava acontecendo? O que houve, de repente, com a tribo Ara-3? Lenski e dois colegas foram investigar e encontraram a resposta. É uma história fascinante. Lembremos que a glicose era o recurso limitador e que qualquer mutante que "descobrisse" como lidar mais eficientemente com essa substância teria uma vantagem. Isso, de fato, é o que ocorre na evolução de todas as doze tribos. Mas eu também disse que a glicose não era o único nutriente no caldo. Outro desses nutrientes era o citrato (relacionado à substância que dá

sabor azedo ao limão). O caldo continha citrato em abundância, mas a E. coli normalmente não o usa, ou pelo menos não quando há oxigênio na água, como havia nos frascos de Lenski. Mas se uma mutante conseguisse "descobrir" como aproveitar o citrato, ela se veria em posse de um banquete. E foi exatamente o que aconteceu na Ara-3. Essa tribo, e só ela, subitamente adquiriu a capacidade de alimentar-se de citrato e de glicose, em vez de apenas glicose. Assim, a quantidade de alimento disponível em cada frasco sucessivo da linhagem disparou. E o mesmo ocorreu com o platô no qual a população de cada frasco diário sucessivo se estabilizava.

Depois de esclarecer o que havia de especial na tribo Ara-3, Lenski e seus colegas procuraram deslindar uma questão ainda mais interessante: essa melhora súbita na capacidade de extrair nutrientes devia-se totalmente a uma única mutação substancial, uma mutação tão rara que apenas uma das doze linhagens tivera a sorte de experimentar? Em outras palavras, seria aquele apenas outro passo mutacional, como os que pareciam ser demonstrados nos pequenos passos do gráfico de aptidão acima? Para Lenski isso pareceu improvável, e por uma razão interessante. Ele conhecia a taxa média de mutação de cada gene do genoma dessas bactérias, e calculou que 30 mil gerações bastavam para que cada gene houvesse sofrido mutação pelo menos uma vez em cada uma das doze linhagens. Assim, parecia improvável que fosse a raridade da mutação a causa do destaque de Ara-3. Várias outras tribos

deveriam tê-la "descoberto".
Havia outra possibilidade teórica, e essa era de dar água na boca. É aqui que a história começa a ficar complicada, por isso, se for tarde da noite, talvez seja boa idéia você deixar essa leitura para amanhã...
E se a feitiçaria química necessária para alimentar-se de citrato requeresse não apenas uma mutação, mas duas ou três? Agora não estamos falando em duas mutações que se edificam uma sobre a outra simplesmente somando-se. Se fosse assim, bastaria que ocorressem as duas mutações em qualquer ordem. Qualquer uma das duas, por si mesma, conduziria até a metade (digamos) do caminho; e qualquer uma das duas, sozinha, conferiria a capacidade de extrair alguma nutrição do citrato, porém não tanto quanto as duas mutações juntas proporcionariam. Uma coisa assim seria equivalente às mutações que já examinamos para o aumento do tamanho do corpo. Mas uma circunstância como essa não seria suficientemente rara para explicar a gritante singularidade da Tribo Ara-3. Não, a raridade de metabolizar citrato indica que estamos procurando algo mais nas linhas da "complexidade irredutível" da propaganda criacionista. Essa poderia ser uma rota bioquímica na qual o produto de uma reação química contribui para outra reação química, e nenhuma das duas pode fazer progresso algum sem a outra. Isso requereria que duas mutações, que vamos chamar de A e B, catalisassem as duas reações. Segundo essa hipótese, seriam necessárias ambas as mutações antes que

houvesse qualquer tipo de melhora, e isso, de fato, seria improvável o bastante para explicar o resultado observado, ou seja, apenas uma das doze tribos ter realizado a façanha.
Tudo isso é hipotético. O grupo de Lenski conseguiu descobrir, pela experimentação, o que realmente ocorreu? Bem, eles deram grandes passos nessa direção, fazendo um brilhante uso dos "fósseis" congelados que foram uma dádiva constante nesses estudos. A hipótese, repetindo, é que, em algum momento ignorado, a Tribo Ara-3 por acaso sofreu uma mutação, a mutação A. Esta não teve nenhum efeito detectável porque a outra mutação necessária, B, ainda estava ausente. A mutação B tem a mesma probabilidade de surgir em qualquer uma das doze tribos. De fato, provavelmente surgiu. Mas B é inútil — não tem absolutamente nenhum efeito benéfico — se a tribo por acaso não houver sido aparelhada com a ocorrência prévia da mutação A. E apenas a tribo Ara-3 foi, por acaso, assim aparelhada.
Lenski poderia até ter enunciado sua hipótese na forma de uma predição capaz de ser posta à prova — e é interessante pensar assim, pois realmente se trata de uma predição, muito embora, em certo sentido, diga respeito ao passado. Eis como eu teria feito a predição, se fosse Lenski:

Descongelarei fósseis da Tribo Ara-3, de datas variadas, estrategicamente escolhidos, seguindo em direção ao passado. Cada um desses "clones Lázaros" será então deixado de modo que continue a evoluir, em um regime semelhante ao

do principal experimento sobre a evolução, do qual, é claro, estará totalmente isolado. E agora, eis minha predição. Alguns desses clones Lázaros "descobrirão" como aproveitar o citrato, mas somente se houverem sido descongelados do registro fóssil depois de determinada geração crítica do experimento original sobre a evolução. Ignoramos, ainda, quando surgiu essa geração mágica, mas a identificaremos, graças ao conhecimento que agora temos, como o momento em que, segundo nossa hipótese, a mutação A entrou na tribo.

Você vai vibrar ao saber que foi exatamente isso que um aluno de Lenski, Zachary Blount, constatou quando realizou uma estafante série de experimentos envolvendo cerca de 40 trilhões — 40.000.000.000.000 — de células de E. coli através das gerações. Descobriu-se que o momento mágico acontecera aproximadamente na geração 20.000. Clones descongelados de Ara-3 datados de momentos posteriores ao da geração 20.000 no "registro fóssil" apresentaram probabilidade crescente de adquirir subsequentemente a capacidade para metabolizar citrato. E isso não se verificou para nenhum clone de geração anterior à 20.000ª. Segundo a hipótese, depois da 20.000ª geração os clones ficaram "aparelhados" para se beneficiar da mutação B toda vez que ela surgisse. E não houve alteração subsequente na probabilidade, em qualquer direção, quando o "dia da ressurreição" dos fósseis ocorreu depois da data mágica da geração 20.000: qualquer que

fosse geração posterior à 20.000ª da qual Blount extraísse uma amostra, a maior probabilidade de que esses fósseis descongelados adquirissem posteriormente a capacidade para metabolizar citrato permanecia igual. Mas fósseis descongelados anteriores à 20.000ª geração não mostraram nenhum aumento na probabilidade de adquirir a capacidade de metabolizar citrato. A Tribo Ara-3, antes da geração 20.000, era igual às demais tribos. Embora seus membros pertencessem à Tribo Ara-3, eles não possuíam a mutação A. Mas depois da geração 20.000, a tribo Ara-3 ficou "aparelhada". Só seus membros eram capazes de aproveitar a "mutação B" quando ela surgia — e ela provavelmente surgiu em várias das outras tribos, mas não surtiu efeito. Existem momentos de júbilo na pesquisa científica, e esse, sem dúvida, há de ter sido um deles.

O estudo de Lenski mostra, em microcosmo e no laboratório, altamente acelerados, de modo a ocorrer bem diante dos nossos olhos, muitos dos componentes essenciais da evolução pela seleção natural: mutação aleatória seguida por seleção natural não aleatória; adaptação ao mesmo meio por rotas separadas ocorrendo independentemente; o modo como sucessivas mutações beneficiam-se de suas predecessoras e produzem mudança evolucionária; o modo como alguns genes dependem, para seus efeitos, da presença de outros genes. E no entanto tudo isso aconteceu em uma ínfima fração do tempo que a evolução normalmente demora.

Há um cômico desdobramento desse triunfante

relato de proeza científica. Os criacionistas odeiam-no. Veja só: essa façanha mostra a evolução em andamento, revela novas informações entrando em genomas sem a intervenção de um "criador", coisa que todos eles foram instruídos a negar que é possível ("instruídos" porque a maioria deles não entende o que significam as "informações"), demonstra o poder da seleção natural para juntar combinações de genes que, pelos ingênuos cálculos tão a gosto dos criacionistas, são praticamente impossíveis, e ainda por cima deita por terra o dogma central da "complexidade irredutível". Não é de admirar, pois, que eles fiquem desnorteados com a pesquisa de Lenski e anseiem por encontrar defeitos nela.

Andrew Schlafly, criacionista e editor da "Conservapedia", a imitação flagrantemente errônea da Wikipedia, escreveu ao dr. Lenski exigindo acesso a seus dados originais, presumivelmente insinuando que havia dúvida quanto à sua veracidade. Lenski não tinha nenhuma obrigação sequer de responder a essa impertinente interpelação) mas, com grande urbanidade, ele respondeu, brandamente sugerindo que Schlafly fizesse a gentileza de ler seu texto antes de criticá-lo. Lenski prosseguiu com uma cabal ponderação: seus melhores dados estavam armazenados na forma de culturas bacterianas congeladas, as quais qualquer pessoa, em princípio, podia examinar para atestar suas conclusões. Ele disse que teria grande prazer em enviar amostras a qualquer bacteriologista qualificado para manuseá-las, salientando que em

mãos despreparadas elas poderiam ser perigosíssimas. Impiedosamente ele enumerou em detalhes essas qualificações, e quase podemos ouvir o deleite com que ele o fez, sabendo muito bem que Schlafly — um advogado, vejam só, e não um cientista! — dificilmente teria capacidade para decifrar aquelas palavras, quanto mais para ser o competente bacteriologista qualificado para realizar avançados e seguros procedimentos laboratoriais seguidos pela análise estatística dos resultados. O célebre cientista blogueiro PZ Myers resumiu sarcasticamente toda essa questão em uma passagem que começa dizendo: "Mais uma vez, Richard Lenski retruca aos asseclas e tolos da Conservapedia e, caramba, ele sempre bota essa turma no chinelo!".

Os experimentos de Lenski, especialmente com a engenhosa técnica da "fossilização", mostram o poder da seleção natural para produzir mudança evolucionária em uma escala de tempo que podemos observar no tempo de vida de um indivíduo humano, bem diante dos nossos olhos. As bactérias nos dão ainda outros exemplos marcantes, embora menos claramente estudados. Muitas cepas bacterianas adquiriram resistência a antibióticos em períodos brevíssimos. Afinal, o primeiro antibiótico, a penicilina, foi desenvolvido heroicamente por Florey e Chain muito recentemente, durante a Segunda Guerra Mundial. Novos antibióticos vêm surgindo em intervalos frequentes desde então, e as bactérias adquirem resistência a quase todos eles. Hoje em dia o exemplo mais ameaçador é o SARM (Staphilococus

aureus resistente à meticilina), que conseguiu tornar muitos hospitais lugares decididamente perigosos de se visitar. Outra ameaça é a "C. diff." (Clostridium difficile). Também nesse caso temos a seleção natural favorecendo cepas que são resistentes a antibióticos, mas ao seu efeito sobrepõe-se um outro. O uso prolongado de antibióticos tende a matar bactérias "boas" presentes no intestino juntamente com as nocivas. Resistente à maioria dos antibióticos, a C. diff. é altamente beneficiada pela ausência de outras espécies de bactéria com as quais normalmente compete: Uma ilustração do princípio "o inimigo do meu inimigo é meu amigo".

Causou-me certa irritação ler um folheto, no consultório do meu médico, alertando sobre o perigo de parar de tomar comprimidos de antibiótico antes do tempo prescrito. Não há nada de errado no aviso em si, mas a justificativa apresentada preocupou-me. O folheto explica que as bactérias são "espertas" e "aprendem" a lidar com antibióticos. Presumivelmente os autores acharam que o fenômeno da resistência aos antibióticos seria mais fácil de entender se eles o chamassem de aprendizado em vez de seleção natural. Mas falar em esperteza e aprendizado para bactérias é confundir o público, e sobretudo não ajuda o paciente a compreender por que ele deve seguir a instrução de continuar tomando os comprimidos até o fim. Qualquer idiota pode ver que não é plausível atribuir esperteza a uma bactéria. Mesmo se existissem bactérias espertas, por que parar prematuramente faria alguma

diferença para a façanha de aprendizado de uma bactéria sabida? Mas quando se começa a raciocinar com base na seleção natural, isso faz sentido perfeitamente.

Os antibióticos, como qualquer veneno, tendem a depender da dosagem. Uma dose suficientemente alta matará todas as bactérias. Uma dose suficientemente baixa não matará bactéria alguma. Uma dose intermediária matará algumas porém não todas. Se entre as bactérias houver variação genética que torne algumas mais suscetíveis ao antibiótico do que outras, uma dose intermediária será sob medida para uma seleção benéfica aos genes que favorecem a resistência. Quando o médico aconselha o paciente a tomar todos os compri¬midos prescritos é para aumentar as chances de matar todas as bactérias e evitar deixar vivas as mutantes resistentes ou semirresistentes. Com o que hoje sabemos, poderíamos dizer que, se houvéssemos sido mais bem-educados no que respeita ao pensamento darwiniano, teríamos acordado mais cedo para os perigos da seleção de cepas resistentes. Folhetos como aquele da sala de espera do meu médico não ajudam nessa educação — uma lamentável oportunidade perdida de ensinar algo sobre o formidável poder da seleção natural.

LEBISTES

O dr. John Endler, meu colega que recentemente se mudou da América do Norte para a Universidade de Exeter, contou-me uma história

ao mesmo tempo surpreendente e consternadora. Durante um vôo doméstico pelos Estados Unidos, o passageiro na poltrona ao lado da sua perguntou qual era a profissão dele. Endler respondeu que era professor de biologia e estava estudando as populações de lebistes selvagens em Trinidad. O homem foi se interessando cada vez mais pela pesquisa e fez várias perguntas. Maravilhado com a elegância da teoria que parecia fundamentar aqueles experimentos, ele perguntou a Endler que teoria era aquela e quem era o autor. Só então o dr. Endler deixou cair o que ele, corretamente, previra ser uma bomba: "Chama-se teoria da evolução pela seleção natural de Darwin!". Instantaneamente, toda a conduta do homem mudou. Ele corou, virou-se abruptamente, recusou-se a falar e cortou o que até então vinha sendo uma conversa cordial. Mais do que cordial, aliás: o dr. Endler escreveu-me contando que o homem "fizera algumas perguntas excelentes antes disso, mostrando que estava acompanhando intelectualmente a argumentação com entusiasmo. Isso é trágico".

Os experimentos que John Endler descreveu a seu tacanho companheiro de vôo são elegantes e simples, e servem para ilustrar primorosamente a velocidade com que a seleção natural pode atuar. É bem adequado usar aqui o próprio estudo de Endler, pois ele é também o autor de Natural selection in the wild, o influente livro que reúne exemplos desses estudos e a exposição de seus métodos.

O lebiste é um peixe de água doce popularmente

criado em aquários. Como no caso dos faisões que encontramos no capítulo 3, os machos têm cores muito mais vivas do que as fêmeas, e os aquaristas promovem sua reprodução de modo a torná-los ainda mais vistosos. Endler estudou lebistes selvagens (Poecilia reticulata) que vivem em rios nas montanhas de Trinidad, Tobago e Venezuela. Ele notou que as populações locais diferiam marcantemente umas das outras. Em algumas populações, os machos adultos tinham cores iridescentes quase tão vivas quanto as dos lebistes criados em aquário. Ele deduziu que seus ancestrais haviam sido selecionados pelas fêmeas por suas cores, do mesmo modo que os faisões machos são selecionados pelas faisoas. Em outras áreas os machos eram mais pardacentos, embora ainda assim mais vistosos do que as fêmeas. Como elas, embora em menor grau, eles ficavam bem camuflados contra o fundo de seixos dos rios onde vivem. Endler mostrou, com elegantes comparações quantitativas entre muitas localidades da Venezuela e Trinidad, que os rios onde os machos eram menos vistosos eram os que tinham predação mais intensa. Em rios onde a predação era fraca, os machos tinham cores mais vivas com manchas maiores, mais berrantes e mais numerosas: lá os machos eram livres para ganhar pela evolução as cores vivas que atraíam fêmeas. A pressão das fêmeas para que evoluíssem machos de cores vivas estava presente o tempo todo, em todas as diversas populações separadas, independentemente de os predadores locais estarem empurrando com força ou

brandamente na outra direção. Como sempre, a evolução acaba conciliando pres-sões seletivas. O interessante nos lebistes é que Endler pôde efetivamente ver como essa conciliação variava em diferentes rios. Mas ele fez muito melhor do que isso: foi além e fez experimentos.

Suponha que você deseja desenvolver o experimento ideal para demonstrar a evolução da camuflagem: o que você faria? Animais camuflados parecem-se com o fundo contra o qual são vistos. Você poderia elaborar um experimento no qual animais efetivamente evoluíssem, bem diante dos seus olhos, adquirindo semelhança com o fundo que você lhes forneceu experimentalmente? De preferência dois fundos, com uma população em cada um? O objetivo é fazer algo como a seleção de duas plantas de milho para obter baixo e alto teores de óleo, como vimos no capítulo 3. Só que, nesses experimentos, a seleção será feita não por humanos, e sim por predadores e por lebistes fêmeas. A única coisa que separará as duas linhas experimentais serão os diferentes fun¬dos que iremos fornecer.

Pegue alguns animais de uma espécie camuflada, talvez uma espécie de inseto, e coloque-os aleatoriamente em diferentes gaiolas (ou cercados, lagos, o que for apropriado) que tenham fundos de cores ou padrões diferentes. Por exemplo, você poderia dar a uma metade dos cercados um fundo verde como o de uma floresta e à outra metade um fundo marrom-avermelhado como o do deserto. Depois de pôr os animais em seus cercados verdes ou marrons, você os deixaria

viver e se reproduzir por quantas gerações o tempo de que você dispõe lhe permitisse, e então voltaria lá para ver se eles evoluíram de modo a se parecer com seus respectivos fundos verde e marrom. Obviamente, você só irá esperar tal resultado se puser predadores no cercado também. Assim, ponhamos um camaleão, por exemplo. Em todos os cercados? Claro que não. Isso é um experimento, lembre-se; por isso, você poria um predador em metade dos cercados verdes e em metade dos cercados vermelhos. O experimento consistiria em um teste para a predição de que, nos cercados com um predador, os insetos evoluiriam de modo a tornar-se verdes ou marrons ou seja, adquirir maior semelhança com o fundo. Mas nos cercados sem predador, eles poderiam, inclusive, evoluir de modo a diferenciar-se mais do fundo, tornando-se mais visíveis para as fêmeas.

Há tempos ambiciono fazer esse mesmo experimento com moscas-das-frutas (porque sua renovação reprodutiva é muito rápida), mas infelizmente ainda não encontrei uma ocasião oportuna. Assim, é uma satisfação especial dizer que isso foi exatamente o que John Endler fez, não com insetos, mas com lebistes. Obviamente ele não usou camaleões como predadores. Escolheu um peixe conhecido como joaninha (Crenicichla alta), que na natureza é um perigoso predador desses lebistes. E tampouco usou fundos verdes e marrons. Ele optou por algo mais interessante. Endler notou que os lebistes devem muito de sua camuflagem às manchas, em geral grandes, cujos

padrões lembram o fundo cascalhoso de seus rios nativos. Alguns rios têm cascalho mais grosso, com mais pedregulhos, enquanto outros são mais finos e arenosos. Esses foram os dois fundos que Endler usou, e o leitor há de concordar que a camuflagem que ele procurava era mais sutil e mais interessante que o meu contraste entre verde e marrom.

Endler providenciou uma grande estufa para simular o mundo tropical dos lebistes e dentro dela montou dez tanques. Pôs cascalho no fundo dos dez tanques: mais grosso e seixoso em cinco deles, mais fino e arenoso nos outros cinco. Já dá para perceber aonde ele queria chegar. A predição é que, quando expostos a intensa predação, os lebistes, nos dois fundos, divergirão ao longo do tempo evolucionário, cada qual de modo a parecer-se com o fundo do tanque em que se encontram. Nos casos em que a predação é fraca ou inexistente, a predição é que os machos tenderão a tornar-se mais vistosos para atrair as fêmeas.

Em vez de pôr predadores em metade dos tanques e deixar a outra metade sem predadores, novamente Engler fez algo mais sutil. Determinou três níveis de predação. Dois tanques (um arenoso e o outro seixoso) ficaram sem predador nenhum. Quatro tanques (dois arenosos e dois seixosos) receberam o perigoso peixe joaninha. Nos quatro tanques restantes, Endler introduziu outra espécie de peixe, Rivulus hartii, conhecido em inglês como killifish, que é relativamente inofensivo para os lebistes. Ele é um "predador fraco", enquanto o

joaninha é um predador forte. A situação do "predador fraco" é uma melhor condição de controle do que a ausência total de predadores. Isso porque Endler estava tentando, como ele explicou, simular duas condições naturais, e pelo que ele saiba não existe nenhum curso d'agua natural totalmente livre de predadores. Assim, a comparação entre predação forte e fraca é mais natural.

Eis, portanto, a estrutura do experimento: lebistes foram colocados aleatoriamente em dez tanques, cinco com fundo cascalhoso e cinco com fundo arenoso. Todas as dez colônias de lebistes ficaram por seis meses sem predadores para se reproduzir livremente. Nesse ponto começou então o experimento propriamente dito. Endler pôs um "predador perigoso" em dois tanques cascalhosos e em dois tanques arenosos. Pôs seis "predadores fracos" (seis em vez de um, só para obter uma melhor aproximação com as densidades relativas dos dois tipos de peixe na natureza) em dois tanques cascalhosos e em dois tanques arenosos. E os dois tanques restantes continuaram como antes, sem predador nenhum.

Passados cinco meses, Endler fez o recenseamento de todos os tanques, contou e mediu as manchas de todos os lebistes. Nove meses depois, ou seja, após catorze meses no total, ele fez outro censo contando e medindo do mesmo modo. E os resultados? Foram espetaculares, mesmo depois de tão breve tempo. Endler usou várias medidas para os padrões cromáticos dos peixes, uma das quais era

"manchas por peixe". Quando os lebistes foram inicialmente postos em seus respectivos tanques, antes da introdução de predadores, havia enorme variação no número de manchas, pois os peixes haviam sido coletados em uma grande variedade de cursos d'água com presença muito diversificada de predadores. Durante os seis meses anteriores à introdução de predadores, o número médio de manchas por peixe aumentou explosivamente. Pode-se presumir que isso foi uma resposta à seleção pelas fêmeas. Mas a partir do momento em que foram introduzidos os predadores, a mudança foi impressionante. Nos quatro tanques com o predador perigoso, o número médio de manchas despencou. A diferença já se evidenciou plenamente no censo do quinto mês, e o número de manchas era ainda menor no censo do décimo quarto mês. Mas nos dois tanques sem predadores e nos quatro com predação fraca, o número de manchas continuou a aumentar. Atingiu um platô já no censo do quinto mês e manteve-se alto até o censo do décimo quarto mês. No que respeita ao número de manchas, a predação fraca parece ser mais ou menos equi¬valente à ausência de predação; ela é suplantada pela seleção sexual feita pelas fêmeas, que preferem manchas em profusão.

Basta de número de manchas. Também o tamanho delas conta uma história interessante. Na presença de predadores, sejam eles fracos ou fortes, o cascalho promoveu manchas relativamente maiores, enquanto o fundo mais arenoso favoreceu manchas relativamente

menores. É fácil interpretar esse fato como uma imitação, pelo tamanho das manchas, da granulação dos seixos. Mas houve um detalhe fascinante: nos tanques sem predador algum, Endler constatou exatamente o oposto. O cascalho mais fino favoreceu manchas graúdas nos lebistes machos, e o cascalho grosso, manchas pequenas. Elas são mais vistosas quando não imitam os seixos de seus respectivos fundos, e isso é bom para atrair as fêmeas. Claro como o dia!

Sim, muito claro. Mas isso foi no laboratório. Endler conseguiria obter os mesmos resultados na natureza? Afirmativo. Ele foi até um rio que continha o perigoso peixe joaninha, onde os lebistes machos eram todos relativamente pouco vistosos. Capturou lebistes de ambos os sexos e transferiu-os para um afluente desse mesmo rio onde não havia lebistes nem predadores perigosos, embora estivesse presente o predador fraco Rivulus hartii. Endler deixou lá os lebistes para que vivessem e se reproduzissem. Passados 23 meses, retornou e reexaminou os lebistes para ver o que acontecera. Espantosamente, depois de menos de dois anos, os machos haviam mudado em um grau marcante, adquirindo cores mais vivas. Impelidos pelas fêmeas, sem dúvida, e livres para seguir essa direção graças à ausência de predadores perigosos.

Uma das coisas que a ciência tem de bom é ser uma atividade pública. Os cientistas publicam seus métodos e conclusões, e com isso qualquer outra pessoa, em qualquer parte do mundo, pode repetir seu trabalho. Se não forem obtidos os mesmos

resultados, queremos saber o porquê. Em geral não simplesmente repetimos o trabalho do outro cientista, nós o ampliamos, vamos além. O brilhante estudo de Endler sobre os lebistes implorava por continuidade e extensão. Entre os que deram seguimento a esse trabalho está David Reznick, da Universidade da Califórnia em Riverside.

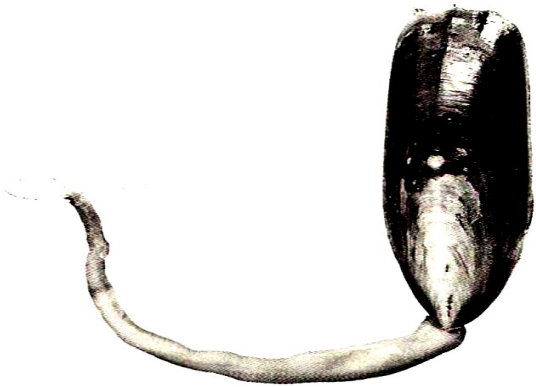
Nove anos depois de Endler povoar seu rio experimental com suas amostras e obter esses resultados espetaculares, Reznick e seus colegas foram até o local e extraíram amostras dos descendentes da população experimental de Endler. Os machos agora tinham cores muito vivas. A tendência impelida pelas fêmeas observada por Endler prosseguira cada vez mais forte. E isso não era tudo. Você deve se lembrar das raposas-cinzentas do capítulo 3 e de como a seleção artificial visando a uma característica (docilidade) arrastou consigo todo um conjunto de outras: mudanças na temporada de acasalamento, nas orelhas, cauda, cor da pelagem e outras. Pois bem: coisa semelhante aconteceu com os lebistes, sob seleção natural.

Reznick e Endler já haviam notado que, quando se comparam lebistes de rios infestados de predadores com lebistes de rios com predação fraca, as diferenças de cor são apenas a ponta do iceberg. Existe todo um conjunto de outras diferenças. Os lebistes de rios com baixa predação atingem a maturidade sexual mais tarde do que os de rios com predação forte, e são maiores quando chegam à fase adulta; produzem ninhadas com

menos frequência, e as crias são menos numerosas e de tamanho maior. Quando Reznick examinou os descendentes dos lebistes de Endler, seus resultados foram quase bons demais para ser verdade. Os peixes que haviam sido deixados em liberdade para seguir a seleção sexual induzida pelas fêmeas em vez da seleção pela sobrevivência individual impelida pelos predadores não só tinham se tornado mais vistosos, mas também, nos outros aspectos que mencionei, haviam adquirido pela evolução o conjunto completo de outras mudanças que normalmente acompanham as populações selvagens na ausência de predadores. Os lebistes amadureciam em idade mais avançada do que nos rios infestados de predadores, eram maiores e tinham prole menos numerosa e de maior porte. A balança pendera para o que é normal em tanques livres de predadores, onde a atratividade sexual é prioritária. E tudo isso aconteceu com uma rapidez impressionante pelos padrões evolucionários. Mais adiante veremos que a mudança evolucionária atestada por Endler e Reznick, movida puramente pela seleção natural (estritamente incluindo a seleção sexual), avançou com rapidez a um ritmo comparável ao obtido por seleção artificial em animais domésticos. Esse é um espetacular exemplo de evolução bem diante dos nossos olhos.

Uma das coisas surpreendentes que aprendemos sobre a evolução é que ela pode ser muito rápida — como vimos neste capítulo — e, em outras circunstâncias, que conhecemos graças ao registro

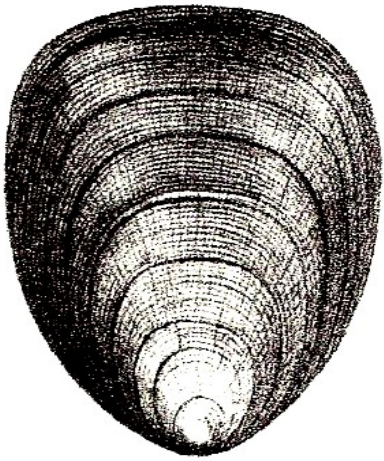
fóssil, muito lenta. A maior lentidão é a encontrada nos seres que chamamos de "fósseis vivos". Eles não são literalmente trazidos de volta à vida como as bactérias congeladas de Lenski. Mas são criaturas que mudaram tão pouco desde o tempo dos seus ancestrais remotos que é quase como se fossem fósseis.



Lingula

Meu fóssil vivo favorito é o braquiópode Lingula. Você não precisa saber o que é um braquiópode. Com certeza os braquiópodes teriam sido presença assídua nos cardápios se existissem restaurante! de frutos do mar antes da grande extinção do Permiano, ocorrida há um quarto de bilhão de anos — a mais catastrófica de todas as extinções em nosso planeta. Um olhar de relance os confundiria com moluscos bivalves — mexilhões e afins —, mas na realidade eles são muito diferentes. Suas duas conchas situam-se em cima e embaixo, enquanto as dos mexilhões são laterais. Na

história evolucionária, bivalves e braquiópodes foram, na memorável comparação de Stephen Jay Gould, como navios que passam um pelo outro à noite. Alguns braquiópodes sobreviveram à "Grande Mortandade" (outra frase de Gould) e o moderno Lingula (acima) é tão semelhante ao Lingulella, o fóssil abaixo, que originalmente o fóssil foi batizado com o mesmo nome genérico, Lingula. Esse espécime específico de Lingulella provém da era Ordoviciana, há 450 milhões de anos. Mas existem fósseis, também originalmente denominados Lingula e hoje conhecidos como Lingulella, que remontam à era Cambriana, há mais de meio bilhão de anos. Devo admitir, porém, que uma concha fossilizada não diz muita coisa, e alguns zoólogos contestam a pretensão do Lingula de ser um "fóssil vivo" quase inalterado.



Lingulella — *quase idêntico a seus parentes modernos*

Muitos dos problemas que encontramos na argumentação evolucionária surgem tão somente

porque os animais não têm a consideração de evoluir à mesma velocidade, e alguns ainda por cima nos fazem a desatenção de absolutamente não evoluir. Se houvesse uma lei da natureza determinando que a quantidade de mudança evolucionária fosse sempre devidamente proporcional ao tempo decorrido, o grau de semelhança refletiria fielmente a proximidade de parentesco. No mundo real, porém, temos de nos contentar com corredores de velocidade evolucionários como as aves, que deixaram suas origens répteis comendo a poeira mesozóica — ajudadas, na percepção que temos de sua singularidade, pela circunstância fortuita de que seus vizinhos na árvore evolucionária foram todos mortos por uma catástrofe celeste. Na outra ponta temos de nos contentar com "fósseis vivos" como o Lingula, os quais, em casos extremos, mudaram tão pouco que quase poderiam intercruzar-se com seus ancestrais remotos se alguma máquina do tempo casamenteira pudesse procurar parceiros para eles.

O Lingula não é o único exemplo famoso de fóssil vivo. Entre outros temos o Limulus, o "caranguejo"-ferradura e os celacantos, que encontraremos no próximo capítulo.

6. Elo perdido? Como assim, "perdido"?

Os criacionistas são tremendamente apaixonados pelo registro fóssil porque foram ensinados (uns pelos outros) a repetir vezes sem conta o mantra de que ele é cheio de "lacunas": "Mostre-me os

seus 'intermediários'!" Imaginam ingenuamente (muito ingenuamente) que essas "lacunas" sejam um estorvo para os evolucionistas. Na verdade, temos sorte por existirem fósseis, e ainda mais nas colossais quantidades de que hoje dispomos para documentar a história evolucionária — fósseis em profusão que, por quaisquer critérios, constituem belos "intermediários". Salientarei nos capítulos 9 e 10 que não precisamos de fósseis para demonstrar que a evolução é um fato. As evidências da evolução estariam totalmente garantidas mesmo se nenhum corpo jamais houvesse se fossilizado. É um benefício adicional dispormos de ricas jazidas fósseis para explorar, e a cada dia outras mais são descobertas. As evidências da evolução provenientes dos fósseis em muitos grupos importantes de animais são maravilhosamente eloquentes. Não obstante, é óbvio que existem lacunas, amadas até a obsessão pelos criacionistas.

Façamos uso mais uma vez da analogia do detetive que chega à cena de um crime para o qual não há testemunha ocular. O baronete foi baleado. Impressões digitais, pegadas, DNA de uma mancha de suor no revólver e um forte motivo! tudo Aponta para o mordomo. É um caso fácil de desvendar, e o júri e todos no tribunal estão convencidos de que a culpa é do mordomo. Mas um indício é descoberto no último minuto, quando o júri já está prestes a se retirar para deliberar sobre o que parece ser o inevitável veredicto de culpa: alguém se lembra de que o baronete havia instalado câmeras contra ladrões.

De respiração suspensa, o tribunal assiste aos filmes. Um deles mostra o mordomo abrindo a gaveta na despensa, tirando um revólver, carregando-o e saindo sorrateiramente do aposento com um brilho malévolo nos olhos. Você poderia pensar que isso reforça ainda mais o caso contra o mordomo. Mas veja o que vem em seguida. O advogado do mordomo astutamente ressalta que não havia câmera na biblioteca onde o assassinato ocorreu, nem no corredor que vai da despensa à biblioteca. De dedo em riste, naquele jeito imperioso dos advogados, ele frisa: "Há uma lacuna nos registros em vídeo! Não sabemos o que aconteceu depois que o mordomo saiu da despensa. Claramente não há evidências suficientes para condenar meu cliente".

Em vão o promotor retruca que havia uma segunda câmera na sala de bilhar, e que ela mostra, pela porta aberta, o mordomo, de arma em punho, aproximando-se na ponta dos pés pelo corredor em direção à biblioteca. Sem dúvida isso remove a lacuna no registro do vídeo, não? Sem dúvida a culpa do mordomo agora é inequívoca, não é? Nada disso. Triunfante, o advogado de defesa lança mão de seu trunfo. "Não sabemos o que aconteceu antes ou depois que o mordomo passou pela porta aberta da sala de bilhar. Agora há duas lacunas no registro em vídeo. Senhoras e senhores do júri, minha defesa está concluída. Agora há ainda menos evidências do que antes contra meu cliente."

O registro fóssil, como a câmera na história de detetive, é uma vantagem a mais, um bônus, algo

que não devemos esperar como um direito adquirido. Sem a câmera já existem evidências mais do que suficientes para condenar o mordomo, e o júri estava mesmo prestes a dar o veredicto de culpado antes de a câmera ser descoberta. Analogamente, há evidências mais do que suficientes de que a evolução é um fato no estudo comparativo de espécies modernas (capítulo 10) e sua distribuição geográfica (capítulo 9). Não precisamos de fósseis — o argumento em defesa da evolução é inexpugnável mesmo sem eles; por isso, é paradoxal usar as lacunas no registro fóssil como se elas fossem uma evidência de que não existe evolução. Como eu disse, temos sorte de existirem fósseis.

O que seria uma evidência contra a evolução, e uma evidência poderosíssima, seria a descoberta de um fóssil, um único que fosse, no estrato geológico errado. Já expliquei isso no capítulo 4. O geneticista e biólogo evolucionário J. B. S. Haldane, quando lhe foi pedido para mencionar algo que, caso fosse observado, refutaria a teoria da evolução, deu uma resposta célebre: "Fósseis de coelho no Pré-cambriano!". Nunca, jamais foi encontrado nenhum coelho fossilizado, nenhum fóssil autenticamente anacrônico de coelho no Pré-cambriano. Todos os fósseis que temos, e eles são muitíssimos, ocorrem, sem exceção autenticada, na sequência temporal certa. Sim, existem lacunas nas quais não há fóssil nenhum, e isso seria mesmo de se esperar. Mas jamais foi encontrado um fóssil sequer antes que seu espécime pudesse ter evoluído. Esse é um fato extraordinariamente

eloquente (e não há razão para esperar vê-lo mencionado na teoria criacionista). Como brevemente comentei no capítulo 4, uma boa teoria, uma teoria científica, é aquela que é vulnerável à refutação mas não se consegue refutá-la. A evolução poderia ser facilmente refutada se um único fóssil aparecesse na ordem temporal errada. A evolução passou no teste com louvor. Os céticos que desejam provar o contrário deveriam estar diligentemente escavando nas rochas, numa desesperada tentativa de encontrar fósseis anacrônicos. Quem sabe achem algum. Quer apostar?

A maior lacuna, a mais adorada pelos criacionistas, é a que precede a chamada Explosão Cambriana. Há pouco mais de meio bilhão de anos, na era Cambriana, a maioria dos grandes filos animais — as principais divisões no mundo animal — "subitamente" aparece no registro fóssil. Subitamente quer dizer que não se conhecem fósseis desses grupos animais em rochas anteriores às cambrianas, e não que tudo aconteceu em um instante: o período em questão abrange cerca de 20 milhões de anos. Vinte milhões de anos parece pouco tempo quando pensamos em algo ocorrido há meio bilhão de anos. Mas, é claro, representam exatamente o mesmo espaço de tempo para evolução que 20 milhões de anos hoje! De qualquer modo, ainda assim é algo bem súbito e, como escrevi em outro livro, o Cambriano nos mostra um número substancial de importantes filos animais já em um estado avançado de evolução, logo na primeira

vez em que aparecem. É como se houvessem simplesmente sido colocados ali, sem nenhuma história evolutiva. Nem é preciso dizer que os criacionistas vibram com essa aparência de colocação súbita.

A última sentença mostra que fui perspicaz o bastante para perceber que os criacionistas gostariam da Explosão Cambriana. Naquele tempo (1986) não tive, contudo, a perspicácia de prever que eles, na maior tranquilidade, citariam minhas palavras em defesa própria, vezes sem conta, cuidadosamente omitindo minha pormenorizada explicação. Deu-me na telha fazer uma busca na internet pelas palavras "é como se houvessem simplesmente sido colocados ali, sem nenhuma história evolutiva". Obtive nada menos do que 1250 resultados. Como um tosco teste de controle para a hipótese de que a maioria desses resultados representava deturpações da minha citação por criacionistas, tentei, para comparação, fazer uma busca da frase imediatamente seguinte à citação acima, extraída de O relojoeiro cego: "Mas os evolucionistas de todas as vertentes acreditam que isso realmente representa uma lacuna enorme no registro fóssil". Obtive um total de 63 resultados, em comparação com os 1250 para a frase anterior. A razão entre 1250 e 63 é 19,8. Poderíamos chamá-la de Índice de Deturpação de Citações.

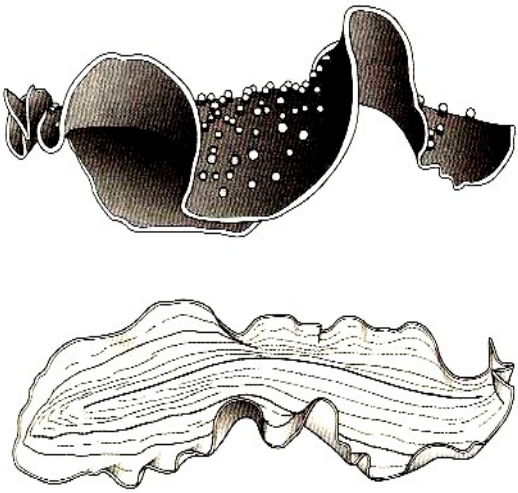
Já expus em detalhes a questão da Explosão Cambriana, especialmente em Desvendando o arco-íris. Acrescentarei aqui apenas um fato, ilustrado pelos platelmintos, ou vermes chatos.

Esse grande filo de vermes inclui a fascíola e a tênia, parasitas importantes na área da saúde. Mas os meus favoritos são os turbelários, vermes de vida livre que somam mais de 4 mil espécies — mais ou menos tão numerosas quanto o conjunto das espécies de mamíferos. Alguns desses turbelários são criaturas belíssimas, como se vê nas duas figuras a seguir. Eles são comuns na água e em terra, presumivelmente há muito tempo. Por isso, você poderia supor que têm uma rica história fóssil. Infelizmente, não têm quase nenhuma. Além de um punhado de ambíguos vestígios fósseis, nunca foi encontrado um verme chato fossilizado. Os platelmintos, no universo dos vermes, estão "já em um estado avançado de evolução, logo na primeira vez em que aparecem. É como se houvessem simplesmente sido colocados ali, sem nenhuma história evolutiva". Só que, neste caso, a "primeira vez em que aparecem" não é no Cambriano, e sim em nossos dias. Percebe o leitor o que isso significa, ou pelo menos deveria significar, para os criacionistas? Eles acreditam que os vermes chatos foram criados na mesma semana em que foram feitos todos os outros seres. Portanto, tiveram exatamente o mesmo tempo que todos os outros animais para fossilizar-se. Durante todos os séculos em que todos aqueles animais com ossos ou conchas estavam depositando seus fósseis aos milhares, os vermes chatos devem ter vivido alegremente ao lado deles, mas sem deixar um único vestígio significativo de sua presença nas rochas. Sendo assim, o que há de tão especial nas

lacunas que encontramos no registro dos animais que efetivamente se fossilizam, dado que a história passada dos vermes chatos é uma única grande lacuna — muito embora os vermes chatos, segundo a explicação dos próprios criacionistas, vivem há exatamente o mesmo tempo? Se a lacuna antes da Explosão Cambriana é usada como evidência de que a maioria dos animais surgiu subitamente no Cambriano, exatamente a mesma "lógica" deveria servir para provar que os vermes chatos surgiram ontem. Só que isso contradiz a crença criacionista de que os vermes chatos foram criados durante a mesma semana criativa em que todos os demais seres foram feitos. Não se pode ter dois pesos e duas medidas. Esse argumento destrói totalmente, de um só golpe, a alegação criacionista de que a lacuna do Pré-cambriano no registro fóssil enfraquece as evidências em favor da evolução.

Por que, do ponto de vista evolucionário, existem tão poucos fósseis antes da era Cambriana? Bem, presumivelmente, quaisquer fatores que se apliquem aos vermes chatos ao longo de todo o tempo geológico até nossos dias aplicam-se também ao resto do reino animal antes do Cambriano. Provavelmente antes do Cambriano a maioria dos animais tinha corpo mole como os vermes chatos modernos, e provavelmente também esses animais eram bem peque¬nos, como os modernos turbelários — péssimo material para a fossilização. E então, há meio bilhão de anos, apareceu alguma coisa que permitiu aos animais fossilizar-se livremente — o surgimento de

esqueletos duros, mineralizados, por exemplo.



Turbelários: nenhum registro fóssil, mas eles sem dúvida existiram todo esse tempo

Um nome mais antigo para a "lacuna no registro fóssil" é "elo perdido". Esse termo foi moda na Inglaterra em fins da era vitoriana e persistiu século xx adentro. Inspirado em uma compreensão equivocada da teoria darwiniana, ele foi usado como insulto, mais ou menos como hoje se usa "neandertal" coloquialmente (e injustamente). Na lista de citações representativas do Oxford English dictionary vê-se uma de D. H. Lawrence, datada de 1930, contando que uma mulher lhe dissera que seu nome "fedia" e acrescentara: "Você, seu misto de elo perdido e chimpanzé".

O significado original, que é confuso, como mostrarei, implicava que a teoria darwiniana não apresentava um elo vital entre os humanos e outros primatas. Outra citação ilustrativa do dicionário, essa vitoriana, usa assim o termo:

"Ouvi falar de um certo elo perdido, entre homens e macacos". Os negadores da história até hoje adoram dizer, em um tom de voz que eles julgam sarcástico: "Mas vocês ainda não encontraram o elo perdido", e costumam rematar com algum motejo sobre o Homem de Piltdown. Ninguém sabe quem perpetrou o embuste de Piltdown, mas, seja quem for, é responsável por muita confusão. O fato de um dos primeiros candidatos a fóssil de homem-macaco descoberto ter se revelado um logro forneceu aos negadores da história um pretexto para desconsiderar os numerosíssimos fósseis que não são fraudes, e eles ainda não se cansaram de cantar vitória por isso. Se examinassem os fatos, logo descobririam que hoje dispomos de um rico estoque de fósseis intermediários ligando os humanos modernos ao ancestral que temos em comum com os chimpanzés — isso do lado humano da divisão, frisemos. É interessante que ainda não temos fósseis ligando esse ancestral (que não foi nem chimpanzé nem humano) aos chimpanzés modernos. Talvez seja porque os chimpanzés vivem em florestas, e nelas as condições para fossilização não são boas. Na verdade, são os chimpanzés, e não os humanos, que atualmente têm o direito de reclamar de elos perdidos!

Esse, portanto, é um dos significados de "elo perdido". É a alegada lacuna entre os humanos e o resto do reino animal. O elo perdido, nesse sentido, não está mais perdido, para dizer o mínimo. Retornarei a essa questão no próximo capítulo, que trata especificamente dos fósseis

humanos.
Outro significado diz respeito à alegada escassez das chamadas "formas transicionais" entre grupos importantes: entre répteis e aves, por exemplo, ou entre peixes e anfíbios. "Mostrem seus intermediários!" Muitos evolucionistas respondem a esse desafio dos negadores da história jogando-lhes na cara os ossos do Archaeopteryx, o famoso "intermediário" entre "répteis" e aves. Isso é um erro, como mostrarei. O Archaeopteryx não é a resposta a um desafio, pois não há desafio digno de resposta. Apresentar um único fóssil famoso como o Archaeopteryx dá margem a uma falácia. Na verdade, para um grande número de fósseis é possível apresentar bons argumentos que os apontem, cada um deles, como intermediários entre isto e aquilo. O suposto desafio que parece ser respondido pelo Archaeopteryx baseia-se em uma concepção ultrapassada, que era conhecida como a Grande Cadeia dos Seres, e essa será a expressão que usarei para examinar a questão mais adiante neste capítulo.
Os mais tolos de todos esses desafios sobre o "elo perdido" são os dois a seguir (ou as variantes deles, que são muitas). Primeiro: "se as pessoas descendem dos macacos via rãs e peixes, por que o registro fóssil não contém um 'rãcaco'?" Já vi um criacionista muçulmano indagar truculentamente por que não existem crocopatos. Segundo: "acreditarei na evolução quando vir uma macaca dar à luz um bebê humano". Este segundo comete o mesmo erro de todos os outros, e um adicional, que é supor que uma grande mudança

evolucionária ocorre da noite para o dia.
Duas dessas falácias por acaso aparecem lado a lado na longa lista de comentários que acompanham um artigo publicado no Sunday Times londrino a respeito de um documentário sobre Darwin que apresentei na televisão:
A opinião de Dawkins sobre religião é absurda, pois a própria Evolução nada mais é do que uma religião — você tem de acreditar que todos nós proviemos de uma única célula [...] e que uma lesma pode se tornar um macaco etc. Hahaha! — essa é a religião mais cômica que já apareceu!
Joyce, Warwickshire, Reino Unido

Dawkins deveria explicar por que a ciência não encontrou os elos perdidos. Fé em ciência infundada é mais conto de fadas do que fé em Deus.
Bob, Las Vegas, EUA

Este capítulo lidará com todas essas falácias, a começar pela mais tola de todas, já que a resposta a ela servirá de introdução para as demais.

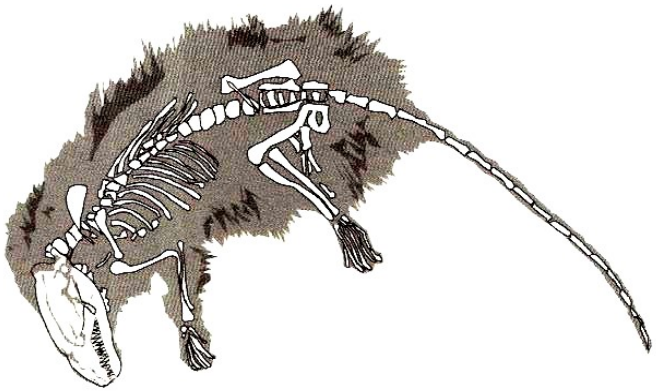
"ENTÃO ME MOSTRE O CROCOPATO!"

Por que o registro fóssil não contém um rãcaco? Ora, obviamente macacos não descendem de rãs. Nenhum evolucionista mentalmente são afirmou tal coisa, nem disse que patos descendem de crocodilos ou vice-versa. Macacos e rãs têm um ancestral em comum, que certamente não era nada parecido com uma rã nem com um macaco.

Talvez lembrasse um pouco uma salamandra, e, de fato, temos fósseis semelhantes à salamandra datados da época certa. Mas isso não vem ao caso. Cada uma dos milhões de espécies de animais tem um ancestral em comum com cada uma das demais. Se a sua compreensão da evolução é tão deturpada que você acha que poderíamos esperar ver um rãcaco e um crocopato, você também apontará com sarcasmo a ausência de um cãopótamo e de um elefanzé. Ora, e por que se limitar aos mamíferos? Por que não um cangurata (intermediário de canguru e barata), ou um polvardo (intermediário de polvo e leopardo)? É infinito o número de nomes de animais que se podem juntar dessa maneira. Evidentemente, hipopótamos não descendem de cães, ou vice-versa. (Chimpanzés não descendem de elefantes, ou vice-versa, assim como macacos não descendem de rãs. Nenhuma espécie moderna descende de qualquer outra espécie moderna (se abstrairmos as separações de espécies muito recentes). Assim como podemos encontrar fósseis que se aproximam do ancestral comum de rãs e macacos, também podemos descobrir fósseis que se aproximam do ancestral comum de elefantes e chimpanzés. Um deles, chamado Eomaia, viveu no Cretácio Inferior, há pouco mais de 100 milhões de anos.

Como se vê, o Eomaia não se parecia nem um pouco com um chimpanzé nem com um elefante. Vagamente semelhante a um musaranho, é provável que ele tenha sido bem parecido com o ancestral comum de ambos, do qual foi

aproximadamente contemporâneo, e podemos ver que muita mudança evolucionária ocorreu ao longo das duas trajetórias — de um ancestral parecido com o Eomaia até o descendente elefante, e desse mesmo ancestral parecido com o Eomaia com o descendente chimpanzé. Mas ele não é, em nenhum sentido, um elefanzé. Se fosse, também teria de ser um cãoti, pois tudo o que for ancestral comum de chimpanzés e elefantes também é ancestral comum de cães e manatis. E também teria de ser um aardvapótamo, pois o mesmo ancestral também é ancestral comum do aardvark e do hipopótamo. A própria ideia de um cãoti (ou elefanzé, aardvapótamo, canguceronte, bufaleão) é absolutamente não evolucionária e ridícula. E o mesmo se aplica ao rãcaco, sendo uma desgraça que o perpetrador desse gracejo barato, o pregador itinerante australiano John Mackay, tenha percorrido escolas britânicas em 2008, mascarado como "geólogo", ensinando a crianças inocentes que, se a evolução fosse verdade, o registro fóssil deveria incluir "rãcacos".



Eomaia

Exemplo igualmente absurdo encontramos no Atlas of creationf do apologista muçulmano Harun Yahya. Esse livro enorme, luxuoso, lindamente ilustrado e estultamente ignorante custou sem dúvida uma fortuna para ser produzido, o que magnifica nosso assombro ao saber que foi distribuído gratuitamente a dezenas de milhares de professores de ciência, entre os quais me incluo. Não obstante as prodigiosas quantias gastas nesse livro, os erros que ele contêm tornaram-se legendários. Com a missão de ilustrar a afirmação falsa de que a maioria dos fósseis antigos indistinguível de seus equivalentes modernos, Yahya mostra uma serpente marinha como se fosse uma enguia (dois animais tão diferentes que são classificados em diferentes classes de vertebrados), uma estrela-do-mar como um ofiuróide (na verdade, são diferentes classes de equinodermos), um verme anelídeo da família Sabellidae como um crinóide lírio-do-mar (que é um equinodermo: esses dois não só pertencem a filos diferentes, mas a diferentes sub-reinos, portanto dificilmente poderiam ser mais distantes um do outro enquanto ainda fossem ambos animais), e — o melhor de todos — uma isca de pesca que ele confundiu com uma mosca-d'água (ver página em cores 8).

Mas além dessas pérolas ridiculamente proselitistas, o livro contém uma seção sobre elos perdidos. Uma figura é apresentada, a sério, com o objetivo de ilustrar o fato de não existir nenhuma forma intermediária entre um peixe e uma estrela-

do-mar. Acho impossível acreditar que o autor realmente pensa que os evolucionistas esperariam encontrar uma transição entre dois animais tão diferentes quanto uma estrela-do-mar e um peixe. Por isso, só me resta suspeitar que ele conhece muito bem o seu público e está, de modo deliberado e cínico, explorando sua ignorância.

"ACREDITAREI NA EVOLUÇÃO QUANDO UMA MACACA DER À LUZ UM BEBÊ HUMANO"

Repito: os humanos não descendem de macacos. Temos um ancestral em comum com eles. Por acaso, o ancestral comum seria muito mais parecido com um macaco do que com um homem, e provavelmente o chamaríamos de macaco se o encontrássemos, há cerca de 25 milhões de anos. Mas embora os humanos tenham evoluído de um ancestral que poderíamos sensatamente chamar de macaco, nenhum animal dá à luz uma nova espécie instantaneamente, ou pelo menos não a um ser tão diferente de si mesmo quanto um homem de um macaco, ou mesmo de um chimpanzé. A evolução não é assim. A evolução é um processo gradual de fato, e além disso só tem poder explanatório sendo gradual. Enormes saltos numa única geração — como na ideia de uma macaca dar à luz um ser humano — são quase tão improváveis quanto a criação divina, e excluídos de consideração pela mesma razão: estatisticamente improvável em demasia. Seria ótimo se os que se opõem à evolução se dessem o pequeno trabalho de aprender ao menos os

rudimentos daquilo a que se opõem.

O PERNICIOSO LEGADO DA GRANDE CADEIA DOS SERES

Na base do capcioso clamor pelos "elos perdidos" frequentemente está um mito medieval que ocupou a mente dos homens até o tempo de Darwin e teimosamente os confundiu mesmo depois. Refiro-me ao mito da Grande Cadeia dos Seres, segundo o qual tudo no universo situa-se numa escada, com Deus no topo e em sequência descendente os arcanjos, as várias ordens de anjos, os seres humanos, os animais, as plantas e por fim as pedras e outras criações inanimadas. Uma vez que isso remonta ao tempo em que o racismo era uma segunda natureza, não é preciso acrescentar que nem todos os seres humanos ocupavam o mesmo degrau. Ah, não. E, obviamente, os homens ficavam em um saudável degrau acima das mulheres de seu tipo (sendo essa a razão pela qual me permiti dizer "ocupou a mente dos homens" e não "das pessoas" na primeira sentença deste parágrafo). Mas foi a alegada hierarquia no reino animal que mais contribuiu para turvar as águas quando a ideia de evolução irrompeu em cena. Pareceu natural supor que animais "inferiores" evoluíssem para animais "superiores". E, sendo assim, deveríamos esperar ver "elos" entre eles, desde a base até altos degraus da "escada". Uma escada com uma porção de degraus faltantes não era convincente. É essa imagem da escada sem degraus que

espreita por trás de boa parte do ceticismo quanto aos "elos perdidos". Mas lodo o mito da escada é profundamente equivocado e antievolucionário, como agora mostrarei.

As expressões "animais superiores" e "animais inferiores" nos escapam da boca com tanta desenvoltura que ficamos chocados ao refletir que, longe de encaixar-se sem esforço no pensamento evolucionário, como alguém poderia supor, elas eram — e são — profundamente antitéticas a ele. Julgamos saber que os chimpanzés são animais superiores e as minhocas são inferiores, achamos que sempre soubemos o que isso significa e supomos que a evolução tenha deixado isso ainda mais claro. Mas não é assim. Não está de modo algum claro que isso tenha algum significado. Ou, se significa algo, refere-se a tantas coisas diferentes que se torna enganoso e até pernicioso.

Eis uma lista das idéias mais ou menos distintamente confusas que se pode ter quando se diz, por exemplo, que um macaco é "superior" a uma minhoca.

1. "Os macacos evoluíram das minhocas." Isso é falso, assim como é falso que os humanos evoluíram dos chimpanzés. Macacos e minhocas têm um ancestral comum.
2. "O ancestral comum do macaco e da minhoca era mais parecido com uma minhoca do que com um macaco." Bem, isso potencialmente faz mais sentido. Podemos até usar a palavra "primitivo" de um modo semipreciso, significando "que lembra os ancestrais", e

> obviamente é verdade que, nesse sentido, alguns animais modernos são mais primitivos do que outros. O que isso significa exatamente, se refletirmos, é que a mais primitiva entre duas espécies mudou menos desde o ancestral comum (todas as espécies, sem exceção, têm um ancestral comum se voltarmos o suficiente no tempo). Se nenhuma das espécies mudou drasticamente mais do que a outra, o termo "primitivo" não deve ser usado ao compará-las.

Vale a pena fazer agora uma pausa para discutir um assunto relacionado. É difícil medir graus de semelhança. E, no fim das contas, não existe uma razão necessária para que o ancestral comum de dois animais modernos seja mais parecido com um do que com outro. Se olharmos dois animais, por exemplo, um arenque e uma lula, é possível que um deles seja mais parecido com o ancestral comum do que o outro, mas nem por isso se pode dizer que tem de ser assim. O tempo decorrido para que ambos divergissem do ancestral comum foi exatamente o mesmo, portanto a primeira suposição de um evolucionista poderia ser, na verdade, que nenhum animal moderno deve ser mais primitivo do que qualquer outro. Poderíamos esperar que ambos tenham mudado num mesmo grau, porém em direções distintas, desde a época do ancestral comum. Acontece que essa suposição frequentemente não se confirma (como no caso do macaco e da minhoca), mas nem por isso há uma razão necessária para que devamos esperar que

seja assim. Além disso, as diferentes partes dos animais não têm de evoluir todas à mesma velocidade. Um animal poderia ser primitivo da cintura para baixo mas altamente evoluído da cintura para cima. Agora falando mais sério: um deles poderia ser mais primitivo em seu sistema nervoso; o outro, no esqueleto. Cabe frisar que "primitivo" no sentido de "parecido com ancestrais" não precisa andar junto com "simples" (no sentido de menos complexo). Uma pata de cavalo é mais simples do que um pé humano (possui apenas um dedo em vez de cinco, por exemplo), mas o pé humano é mais primitivo (o ancestral que temos em comum com o cavalo tinha cinco dedos, como nós, portanto o cavalo mudou mais). Isso nos leva ao próximo item da nossa lista.

3. "Os macacos são mais inteligentes [ou mais bonitos, ou têm genoma maior, plano corporal mais complexo etc.] do que as minhocas." Esse tipo de esnobismo zoológico causa confusão quando se tenta aplicá-lo cientificamente. Só o menciono aqui porque muitos o confundem com os outros significados, e o melhor modo de esclarecer uma confusão é expô-la. Você pode imaginar um grande número de escadas nas quais se classificariam os animais — não apenas as quatro que mencionei. Os animais situados no alto de uma dessas escadas podem ou não estar no alto de outra. Os mamíferos certamente possuem cérebro maior do que as

salamandras, mas têm genomas menores que os de algumas delas.

4. "Os macacos são mais parecidos com os humanos do que as minhocas." Isso é inegável para o exemplo específico dos macacos e minhocas, mas e daí? Por que deveríamos escolher os humanos como o padrão para julgar outros organismos? Uma sanguessuga indignada poderia salientar que as minhocas têm a grande virtude de ser mais parecidas com as sanguessugas do que os humanos. Apesar da tradicional classificação dos humanos entre os animais e os anjos na Grande Cadeia dos Seres, não existe justificação evolucionária para a suposição comum de que a evolução, sabe-se lá por quê, tem os humanos como "alvo" ou que os humanos são "a última palavra" da evolução. É impressionante como essa pressuposição pretensiosa aflora com frequência. Em seu nível mais rudimentar, nós a encontramos naquela ubíqua pergunta impertinente "se os chimpanzés evoluíram até se tornarem humanos, como é que ainda existem chimpanzés?". Já mencionei esse disparate, e não estou brincando. Encontro essa questão vezes sem conta, vinda, às vezes, de pessoas aparentemente instruídas.
5. "Os macacos [e outros animais 'superiores'] são mais hábeis para sobreviver do que as minhocas [e outros animais 'inferiores']." Isso não contém um pingo sequer de sensatez, muito menos de verdade. Todas as espécies

vivas sobreviveram pelo menos até o presente. Alguns macacos, como o mico-leão-dourado, estão em risco de extinção. Têm mais dificuldade para sobreviver do que as minhocas. Os ratos e as baratas prosperam, apesar de serem considerados por muita gente como "inferiores" aos gorilas e orangotangos, ambos perigosamente à beira da extinção.

Espero ter dito o suficiente para mostrar que não tem sentido escalonar as espécies modernas, como se fosse óbvio o que se quer dizer com "superior" e "inferior", e ter deixado claro que isso é totalmente antievolucionário. Podemos imaginar um sem-número de escalas; em certos casos pode ser sensato classificar os animais em pelo menos algumas das escalas separadamente, mas as escalas não são bem correlacionadas umas às outras, e nenhuma delas tem o direito de ser chamada de "escala evolucionária". Tratamos da histórica tentação de cometer erros toscos como "por que não existem rãcacos?". Mas o pernicioso legado da Grande Cadeia dos Seres também insufla o questionamento: "onde estão os intermediários entre os principais grupos animais?" e, quase tão vergonhosamente, está por trás da tendência de alguns evolucionistas a responder a esse questionamento alardeando fósseis específicos, como o Archaeopteryx, o festejado "intermediário entre répteis e aves". Não obstante, há outro aspecto na falácia do Archaeopteryx, e esse, por ter uma importância

muito abrangente, merece que eu lhe dedique dois parágrafos, usando o Archaeopteryx como exemplo específico de um caso geral.

Os zoólogos tradicionalmente dividem os vertebrados em classes: divisões principais com nomes como mamíferos, aves, répteis e anfíbios. Alguns zoólogos, os chamados "cladistas", afirmam que uma classe propriamente dita deve consistir em animais que têm, todos, um ancestral comum que pertenceu a essa classe e não possui descendentes fora desse grupo. As aves seriam um bom exemplo de classe. Todas as aves descendem de um único ancestral que também teria sido chamado de ave e que teria em comum com as aves modernas as características identificadoras fundamentais: penas, asas, bico etc. Nesse sentido, os animais comumente designados como répteis não formam uma boa classe. Isso porque, pelo menos nas taxonomias convencionais, essa categoria explicitamente exclui as aves (elas formam uma classe própria), e no entanto alguns "répteis", assim reconhecidos convencionalmente (por exemplo, crocodilos e dinossauros), são parentes mais próximos das aves do que de outros "répteis" (por exemplo, lagartos e tartarugas). Na verdade, alguns dinossauros são mais próximos das aves do que de outros dinossauros. Portanto, "répteis" é uma classe artificial, pois as aves são artificialmente excluídas. Em um sentido estrito, se fôssemos considerar os répteis uma classe verdadeiramente natural, teríamos de incluir nela as aves. Zoólogos de inclinações cladistas evitam totalmente o termo

"répteis", dividindo-os em arcossáurios (crocodilos, dinossauros e aves), lepidossáurios (cobras, lagartos e o raro Sphenodon da Nova Zelândia) e testudinídeos (tartarugas e jabutis). Os zoólogos sem inclinações cladistas contentam-se em usar a designação "réptil" por sua utilidade descritiva, apesar de ela excluir artificialmente as aves.

Mas o que há de especial nas aves que nos tenta a separá-las dos répteis? O que parece justificar que se dê às aves a honraria de "classe" quando, evolucionariamente falando, elas são apenas um ramo dos répteis? É o fato de que os répteis imediatamente ao redor delas, seus vizinhos próximos na árvore da vida, por acaso estão extintos, e só as aves, as únicas de seu grupo, continuaram vivas. Os parentes mais próximos das aves encontram-se todos entre os dinossauros, extintos há tanto tempo. Se uma grande variedade de linhagens de dinossauros houvesse sobrevivido, as aves não se destacariam: não teriam sido elevadas à condição de uma classe específica de vertebrados, e ninguém estaria fazendo perguntas como "onde estão os elos perdidos entre répteis e aves?". O Archaeopteryx ainda assim seria um belo fóssil para um museu, mas não teria seu presente papel de astro da resposta clássica ao desafio sem sentido (pois agora podemos entendê-lo dessa maneira) "apresente os intermediários". Se a extinção houvesse atingido de outro modo os grupos de animais, hoje teríamos uma porção de dinossauros andando pelo planeta, e entre eles estariam alguns emplumados, voadores e dotados de bico chamados de aves. Com efeito,

dinossauros emplumados fossilizados vêm sendo descobertos em números crescentes, deixando vividamente claro que a exigência de "apresentar o elo perdido" não é uma questão fundamental para a qual o Archaeopterix seja a resposta.
Tratemos agora de algumas das principais transições na evolução, nas quais se supõe que elos estão "perdidos".

SAÍDOS DO MAR

Com exceção das viagens espaciais, é difícil imaginar um passo mais ousado ou mais radical do que trocar a água pela terra firme. Essas duas zonas vitais diferem em tantos aspectos que mudar de uma para a outra requer alterações radicais em quase todas as partes do corpo. As guelras, tão boas para extrair oxigênio da água, são praticamente inúteis no ar, enquanto os pulmões não têm utilidade na água. Métodos de propulsão que na água são velozes, graciosos e eficientes são perigosamente desajeitados em terra firme e vice-versa. Não admira que "peixe fora d'água" tenha se tornado uma frase proverbial. E nem que "elos perdidos" nessa região do registro fóssil sejam alvo de um interesse além do usual.
Se voltarmos o bastante no tempo, todos os seres viviam no mar, alma mater molhada e salgada de toda a vida. Em vários pontos da história evolucionária, indivíduos empreendedores de muitos grupos animais mudaram-se para terra firme, e alguns finalmente foram morar nos mais

ressequidos desertos, levando sua própria água marinha em seus fluidos sanguíneos e celulares. Em adição aos répteis, aves, mamíferos e insetos que vemos à nossa volta, outros grupos que conseguiram empreender a grande jornada para fora do útero aquático da vida incluem os escorpiões, lesmas, crustáceos como o tatuzinho e os caranguejos terrestres, miriápodes e centopeias, aranhas e afins e no mínimo três filos de vermes. E não podemos esquecer as plantas, únicas fornecedoras de carbono usável, cuja invasão prévia da terra firme possibilitou todas as outras migrações.

Felizmente os estágios transicionais do nosso êxodo, quando os peixes vieram para terra firme, são primorosamente documentados no registro fóssil. E o mesmo se pode dizer sobre os estágios transicionais em sentido oposto muito tempo depois, quando os ancestrais das baleias e dugongos trocaram seu duramente conquistado lar em terra firme e voltaram para os mares ancestrais. Em ambos os casos, elos outrora faltantes hoje enriquecem em abundância nossos museus.

Quando dizemos que "peixes" subiram para terra firme, temos de lembrar que os "peixes", assim como os "répteis", não constituem um grupo natural. Os peixes são definidos por exclusão. Peixes são todos os vertebrados com exceção dos que se mudaram para terra firme. Como toda a evolução inicial dos vertebrados ocorreu na água, não surpreende que a maioria dos ramos sobreviventes da árvore dos vertebrados ainda se

encontre no mar. E ainda os chamamos de "peixes", mesmo quando são apenas parentes muito distantes de outros "peixes". A truta e o atum são primos mais próximos dos humanos que dos tubarões, mas chamamos todos de "peixes". E os peixes pulmonados e os celacantos são primos mais próximos dos humanos que da truta e do atum (e, obviamente, do tubarão), mas também os chamamos de "peixes". Até os tubarões são primos mais próximos dos humanos do que das lampreias e do peixe bruxa (os únicos sobreviventes modernos do outrora florescente e diversificado grupo de peixes sem mandíbula), mas também os chamamos de peixes. Vertebrados cujos ancestrais nunca se aventuraram em terra firme parecem-se todos com "peixes", nadam como peixes (diferentemente do golfinho, que nada curvando a espinha verticalmente em vez de lateralmente como fazem os peixes) e, desconfio, têm gosto de peixe.

Para um evolucionista, como acabamos de ver no exemplo dos répteis e aves, um grupo "natural" de animais é aquele cujos membros são primos mais próximos uns dos outros do que de todos os outros não membros do grupo. "Aves", como vimos, são um grupo natural, pois têm um ancestral comum mais recente não compartilhado por não aves. Pela mesma definição, "peixes" e "répteis" não são grupos naturais. O mais recente ancestral comum de todos os "peixes" também é ancestral de muitos não peixes. Se deixarmos de lado os tubarões, nossos primos distantes, nós, mamíferos, pertencemos a um grupo natural que

inclui todos os peixes ósseos modernos (ósseos em contraste com tubarões cartilaginosos). Se em seguida deixarmos de lado os peixes ósseos "de nadadeiras raiadas" (salmão, truta, atum, acará — quase todos os peixes prováveis de se ver que não sejam tubarões), o grupo natural ao qual pertencemos inclui todos os vertebrados terrestres mais os chamados peixes de nadadeiras lobadas. É das fileiras dos peixes de nadadeiras lobadas que surgimos, e devemos agora dar a eles uma atenção especial.

Atualmente os peixes de nadadeiras lobadas resumem-se aos peixes pulmonados e aos celacantos ("resumem-se" como peixes, na verdade, mas podem expandir-se vertiginosamente entre os animais terrícolas: nós, vertebrados de terra firme, somos peixes pulmonados aberrantes. Eles são chamados de "nadadeiras lobadas" porque suas nadadeiras são como pernas, e não raiadas como as dos peixes com os quais estamos mais familiarizados. Old Fourlegs [O Velho Quatro Pernas] é o título de um popular livro sobre os celacantos escrito por J. L. B. Smith, o biólogo sul-africano que é o grande responsável por trazê-los à atenção do mundo depois do emocionante episódio de 1938 em que o primeiro celacanto vivo foi descoberto em meio ao produto da pesca de uma traineira sul-africana. "Eu não teria ficado mais surpreso se visse um dinossauro andando pela rua", admirou-se o biólogo. Os celacantos já eram então conhecidos, mas como fósseis, e julgava-se que estavam extintos desde o tempo dos dinossauros. Smith

escreveu comoventemente sobre o momento em que pôs os olhos pela primeira vez no estarrecedor achado ao ser chamado pela descobridora, Margaret Latimer (ele depois batizou o celacanto de Latimeria), para dar sua opinião de perito:

Fomos direto para o Museu. A srta. Latimer não estava, o curador levou-nos à sala interna, e lá estava ele: o celacanto, sim, meu Deus! Eu viera preparado, mas aquela primeira visão me atingiu como uma rajada incandescente, e eu me pus a tremer, atordoado, o corpo em arrepios. Fiquei petrificado. Sim, sem sombra de dúvida, escama por escama, osso por osso, nadadeira por nadadeira, aquele era um verdadeiro celacanto. Igualzinho a uma daquelas criaturas de 200 milhões de anos atrás se ela voltasse à vida. Esqueci de tudo o mais, olhei, olhei e por fim, quase com medo, me aproximei, toquei-o, afaguei-o enquanto minha mulher observava em silêncio. A srta. Latimer chegou e nos cumprimentou calorosamente. Só então voltou-me a fala, cujas palavras exatas eu esqueci, mas foi para dizer-lhes que era verdade, era verdade mesmo, aquele era inquestionavalmente um celacanto. Nem mesmo eu podia duvidar mais."

Os celacantos são primos mais próximos dos humanos que da maioria dos peixes. Mudaram um pouco desde o tempo do nosso ancestral comum, mas não o suficiente para serem tirados da categoria de animais que, coloquialmente e para um pescador, seriam classificados como peixes.

Mas eles, e os peixes pulmonados, são inquestionavelmente primos mais próximos do homem do que da truta, do atum e da maioria dos outros peixes. Celacantos e peixes pulmonados são exemplos de "fósseis vivos".

No entanto, não descendemos dos peixes pulmonados nem dos celacantos. Temos um ancestral em comum com os peixes pulmonados, o qual se parecia mais com eles do que com um humano. Mas não era extremamente parecido nem com uns nem com outro. Os peixes pulmonados podem ser fósseis vivos, mas ainda assim não são muito semelhantes aos nossos ancestrais. Na busca destes, devemos procurar por fósseis reais em rochas. E em especial estamos interessados em fósseis da era Devoniana que reflitam a transição entre peixes, criaturas aquáticas, e os primeiros vertebrados a viver em terra firme. Mesmo entre fósseis reais, seria otimismo demais esperar que viéssemos a encontrar exatamente os nossos ancestrais. No entanto, podemos esperar encontrar primos dos nossos ancestrais que sejam suficientemente próximos para nos dar uma idéia aproximada de como eles eram.

Uma das mais famosas lacunas no registro fóssil, tão flagrante que recebeu um nome, "Lacuna de Romer" (A. S. Romer foi um renomado paleontólogo americano), estende-se de aproximadamente 360 milhões de anos atrás, no fim do período Devoniano, até cerca de 340 milhões de anos, no início do Carbonífero Superior. Após a Lacuna de Romer encontramos criaturas

inequivocamente anfíbias rastejando pelos pântanos, uma rica irradiação de animais parecidos com as salamandras, alguns deles grandes como crocodilos e vagamente parecidos com eles. Essa parece ter sido uma era de gigantes, com libélulas que tinham uma envergadura de asas do comprimento do meu braço — os maiores insetos que já viveram. A partir de aproximadamente 340 milhões de anos atrás, quase poderíamos chamar o Carbonífero de equivalente anfíbio da era dos dinossauros. Mas antes disso houve a Lacuna de Romer. E antes dessa lacuna, Romer só conseguiu ver peixes, peixes de nadadeiras lobadas, vivendo na água. Onde estão os intermediários, e o que os levou a aventurar-se em terra firme?

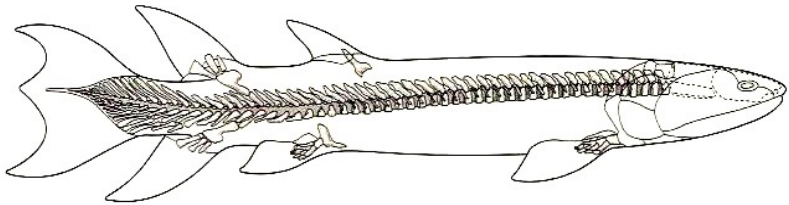
Minha imaginação nos tempos de estudante universitário em Oxford incendiava-se com as conferências do prodigiosamente douto Harold Pusey. A despeito de suas palestras áridas e demoradas, ele tinha o dom de olhar além dos ossos ressequidos e ver os animais de carne e osso que precisavam sobreviver em um mundo já desaparecido. Sua evocação tio que teria impelido alguns peixes de nadadeiras lobadas a adquirir pulmões e pernas, uma idéia que ele derivou do próprio Romer, memoravelmente fez sentido aos meus ouvidos de estudante, e ainda faz, embora seja menos festejada pelos paleontólogos atuais do que foi no tempo de Romer. Este, assim como Pusey, imaginou que houve secas anuais durante as quais lagos, lagoas e riachos secavam, só voltando a encher-se no ano seguinte. Peixes

poderiam beneficiar-se de uma capacidade temporária para sobreviver em terra, e alguns talvez se arrastassem de um lago ou lagoa rasa ameaçado de dessecação para outro mais profundo no qual pudessem sobreviver até a próxima estação. Segundo essa hipótese, nossos ancestrais não vieram para terra firme no sentido exato do termo, e sim a usaram como uma ponte temporária a fim de escapar de volta para a água. Muitos animais modernos fazem o mesmo.

Lamentavelmente, Romer apresentou sua teoria com um preâmbulo cujo propósito era mostrar que a era Devoniana foi um tempo de estiagens. Consequentemente, quando dados mais recentes refutaram essa suposição, isso pareceu refutar toda a teoria de Romer. Teria sido melhor se ele omitisse o preâmbulo, que, de qualquer modo, era supérfluo. Como mostrei em A grande história da evolução, a teoria ainda está de pé, mesmo que o Devoniano tenha sido menos assolado por secas do que Romer pensava.

De qualquer modo, voltemos aos próprios fósseis. Eles aparecem muito esparsamente em todo o Devoniano Superior, o período imediatamente precedente ao Carbonífero. São intrigantes vestígios de "elos perdidos", animais que percorreram parte do caminho que abrevia a lacuna entre os peixes de nadadeiras lobadas, tão abundantes nos mares devonianos, e os anfíbios que posteriormente colearam pelos pântanos do Carbonífero. Do lado dos peixes nessa lacuna, o Eusthenopteron foi descoberto em 1881 numa coleção de fósseis do Canadá. Ele parece ter sido

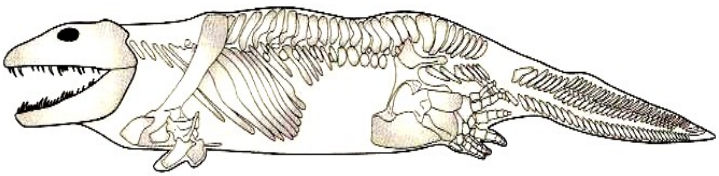
um peixe que caçava na superfície e provavelmente nunca veio para terra firme, não obstante algumas imaginativas reconstitui¬ções iniciais. Mas ainda assim ele tinha várias semelhanças anatômicas com os anfíbios de 50 milhões de anos depois, entre as quais os ossos cranianos, os dentes e, sobretudo, as nadadeiras. Embora provavelmente fossem usadas para nadar e não para andar, seus ossos apresentavam o típico padrão dos tetrápodes (nome dado a todos os vertebrados terrestres). No membro anterior, um único úmero juntava-se a dois ossos, rádio e ulna, ligados a numerosos ossinhos, que nós, tetrápodes, chamaríamos de carpo, metacarpo e dedos. E o membro posterior possui um padrão também semelhante ao dos tetrápodes.



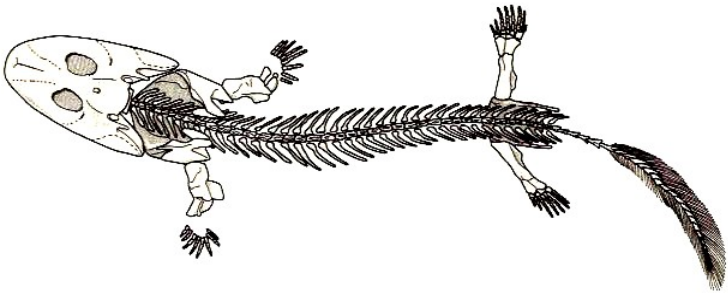
Eusthenopteron

Do lado dos anfíbios na lacuna, cerca de 20 milhões de anos mais tarde, na fronteira entre o Devoniano e o Carbonífero, causou comoção uma descoberta feita em 1932 na Groenlândia: o Ichthyostega. A propósito, não se deixe enganar com imagens de frio e gelo. A Groenlândia, no tempo do Ichthyostega, estava no equador. O Ichthyostega foi reconstituído pela primeira vez

em 1955 pelo paleontólogo sueco Erik Jarvik, que também o retratou mais parecido com um animal terrestre do que hoje fazem os especialistas. A mais recente reconstituição, feita por Per Ahlberg na antiga universidade de Jarvik, Uppsala, situa o Ichthyostega sobretudo na água, embora ele provavelmente fizesse ocasionais incursões em terra. No entanto, ele se parecia mais com uma enorme salamandra do que com um peixe, e tinha a cabeça achatada tão característica dos anfíbios. Em contraste com todos os tetrápodes modernos, que têm cinco dedos nas mãos e pés (pelo menos no embrião, embora possam perder alguns dedos quando adultos), o Ichthyostega tem sete dedos nos pés. Ao que parece, os primeiros tetrápodes tiveram mais liberdade do que hoje temos para "experimentar" com vários números de dedos. Presumivelmente, em algum ponto os processos embriológicos fixaram-se nos cinco dedos e esse foi um passo difícil de reverter. Não tão difícil, na verdade, como se reconhece. Existem alguns gatos, e até humanos, com seis dedos. Os dedos extras provavelmente se devem a um erro de duplicação na embriologia.

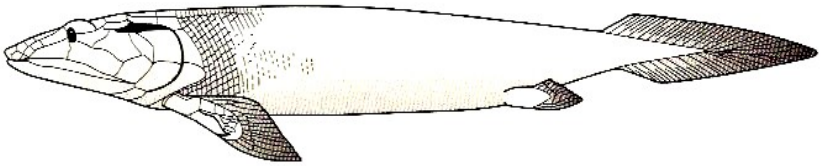


Ichthyostega



Acanthostega

Outra descoberta empolgante, também na Groenlândia tropical e datada da fronteira entre Devoniano e Carbonífero, é o Acanthostega. Ele também tinha crânio achatado como o dos anfíbios e membros parecidos com os dos tetrápodes; mas também se afastava, e ainda mais do que o Ichthyostega, do que hoje vemos como o padrão de cinco dedos: tinha oito. Os cientistas que são os maiores responsáveis pelo conhecimento que hoje temos do Acanthostega, Jenny Clack e Michael Coates, da Universidade de Cambridge, supõem que, como o Ichthyostega, o Acanthostega vivia boa parte do tempo na água, mas tinha pulmões, e seus membros sugerem acentuadamente que ele era capaz de sobreviver em terra firme além de na água se fosse preciso. Ele também se parecia bastante com uma salamandra gigante. Voltando agora ao lado dos peixes na divisão, o Panderichthys, também do Devoniano Superior, é um pouco mais similar a um anfíbio e menos parecido com um peixe do que o Eusthenopteron. Mas se você o visse, com certeza pensaria que é um peixe, e não uma salamandra.



Panderichthys

Ficamos, pois, com uma lacuna entre o Panderichthys, o peixe com jeito de anfíbio, e o Acanthostega, o anfíbio com jeito de peixe. Onde está o "elo perdido" entre os dois? Um grupo de cientistas da Universidade da Pennsylvania, entre eles Neil Shubin e Edward Daeschler, incumbiu-se de procurá-lo. Shubin fez dessa busca a base para uma fascinante série de reflexões sobre a evolução humana em seu livro Your innerfish. Os cientistas deliberadamente pensaram em qual poderia ser o melhor lugar para procurar, e por fim escolheram uma área rochosa exatamente de fins da era Devoniana no Ártico canadense. Foram para lá e acharam uma mina de ouro zoológica: o Tiktaa-lik. Um nome que jamais será esquecido. Provém de uma palavra inuíte que designa um grande peixe de água doce. Quanto ao nome específico, roseae, permita-me contar uma história de alerta a mim mesmo. Quando ouvi esse nome pela primeira vez e vi fotos como a que está reproduzida na página em cores 10, minha mente saltou de imediato para o Devoniano, o "Velho Arenito Vermelho", a cor do condado epônimo, Devon, a cor de Petra ("Uma cidade vermelho-róseo, quase tão velha quanto o tempo").

Infelizmente, eu estava bem enganado. A foto exagera o tom rosado. O nome, na verdade, foi escolhido em honra a um patrono que ajudou a financiar a expedição ao Devoniano Ártico. Tive o privilégio de ver o Tiktaalik roseae, mostrado pelo dr. Daeschler quando almocei com ele na Filadélfia pouco depois de sua descoberta, e o zoólogo — ou talvez o peixe — que sempre existiu em mim ficou sem fala. Devaneei que estava olhando a face de meu ancestral direto. Irrea-lista, sim, mas aquele fóssil não tão rosado provavelmente era o mais próximo que eu jamais chegaria de encontrar um verdadeiro ancestral quase tão velho quanto o tempo.

Se você ficasse cara a cara com um Tiktaalik de verdade, vivo, poderia sobressaltar-se pensando estar diante de um crocodilo, pois seu rosto lembra esse animal. Uma cabeça de crocodilo num tronco de salamandra, ligado a uma extremidade posterior e a uma cauda de peixe. Ao contrário de qualquer peixe, o Tiktaalik tinha pescoço. Podia virar a cabeça; em quase todos os detalhes, ele é o perfeito elo perdido — perfeito porque divide quase exatamente a diferença entre peixe e anfíbio, e perfeito porque não está mais perdido. Temos o fóssil. Você pode vê-lo, tocá-lo, tentar adivinhar sua idade — e errar.

"TENHO DE VOLTAR PARA O MAR"

A mudança da água para a terra desencadeou uma reformulação fundamental de todos os

aspectos da vida, da respiração à reprodução: foi uma grande jornada no espaço biológico. Contudo, no que parece quase um ato de rebelde perversidade, um bom número de animais totalmente terrestres mais tarde fez meia-volta, abandonou seu duramente conquistado equipamento reformado de viver em terra e marchou de volta para a água. As focas e os leões-marinhos voltaram só parcialmente. Eles nos mostram como talvez tenham sido os intermediários, animais a caminho para casos extremos como as baleias e dugongos. As baleias (entre elas as pequenas que chamamos de golfinhos) e os dugongos, junto com seus primos chegados, os manatis, deixaram totalmente de ser criaturas terrícolas e reverteram por completo aos hábitos marinhos de seus ancestrais remotos. Não vêm a terra firme sequer para se reproduzir. No entanto, ainda respiram ar, pois nunca adquiriram um equivalente às guelras de seus remotos progenitores marinhos. Entre outros animais que voltaram da terra para a água, ao menos em tempo parcial, temos os moluscos limneídeos, as aranhas-de-água, os besouros-de-água, crocodilos, lontras, serpentes do mar, musaranhos-d'água, cormorões-das-galápagos, iguanas-marinhos-das-galápagos, cuicas-d'água (marsupiais aquáticos sul-americanos), ornitorrincos, pinguins e tartarugas.

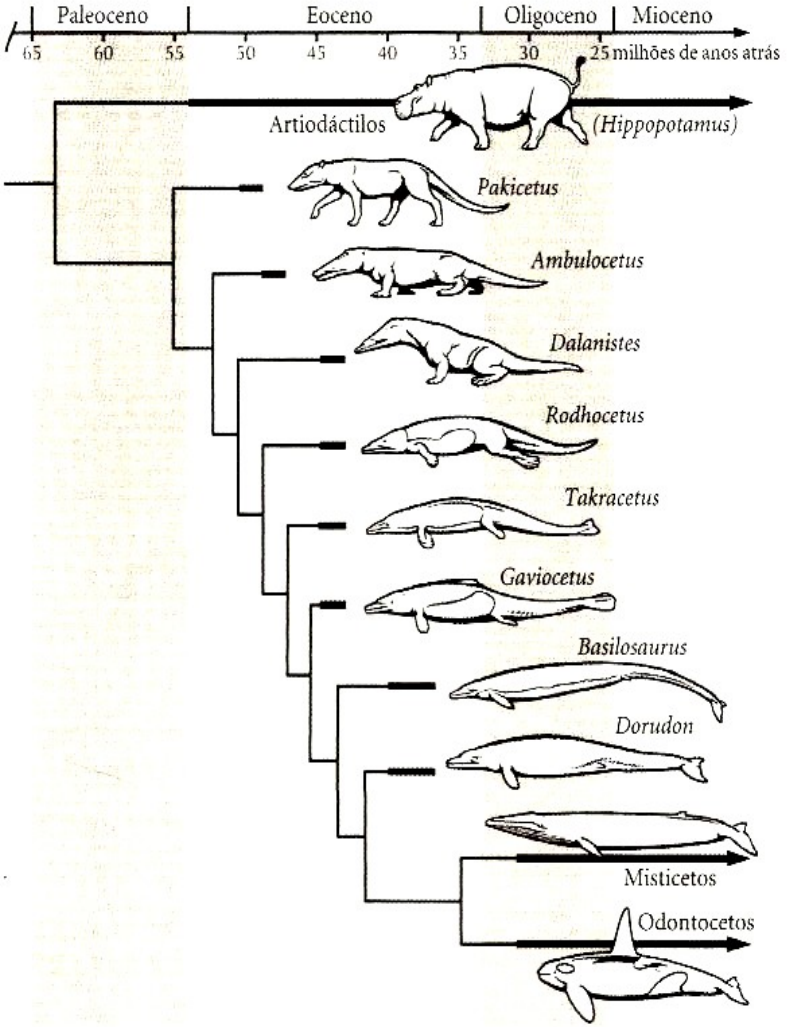
As baleias foram um enigma durante muito tempo, mas agora nosso conhecimento sobre sua evolução enriqueceu-se substancialmente. Evidências da genética molecular (veja no capítulo

10 uma exposição sobre esse tipo de evidência) indicam que os primos vivos mais próximos das baleias são os hipopótamos, em seguida os porcos e depois os ruminantes. Ainda mais surpreendente é que os dados moleculares mostram que os hipopótamos são mais proximamente aparentados com as baleias do que com os animais de casco fendido (como os porcos e os ruminantes), cuja aparência é bem mais semelhante à deles. Esse é mais um exemplo da disparidade que às vezes pode surgir entre a proximidade de parentesco e o grau de semelhança física. Nós a notamos acima, quando vimos que certos peixes são primos mais próximos dos humanos do que de outros peixes. Nesse caso, a anomalia surgiu porque nossa linhagem trocou a água pela terra e, consequentemente, passou por uma prodigiosa evolução, enquanto os peixes que são nossos primos próximos, os celacantos e os peixes pulmonados, continuaram a lembrar os peixes que são nossos primos mais distantes porque tanto uns como outros permaneceram na água. Agora tornamos a encontrar esse fenômeno, porém ao inverso. Os hipopótamos permaneceram em terra, ao menos parcialmente, por isso ainda se parecem com seus primos terrestres mais distantes, os ruminantes, enquanto suas primas mais próximas, as baleias, foram para o mar e mudaram tão drasticamente que suas afinidades com os hipopótamos passaram despercebidas a todos os biólogos exceto os geneticistas moleculares. Como ocorreu quando seus remotos ancestrais peixes originalmente seguiram na outra direção, essa

mudança foi, de certa forma, como decolar para o espaço, ou pelo menos subir num balão, quando os ancestrais das baleias flutuaram livres dos restritivos freios da gravidade e cortaram suas amarras com a terra firme.

Ao mesmo tempo, o antes pobre registro fóssil da evolução das baleias foi convincentemente bem abastecido, sobretudo por um novo achado no Paquistão. Mas a história das baleias fossilizadas está tão bem registrada em outros livros recentes, como Evolution: what thefossils say and why it matters [Evolução: o que dizem os fósseis e por que isso tem importância], de Donald Prothero, e o mais recente Why evolution is true [Por que a evolução é verdade], de Jerry Coyne, que decidi não abordar aqui os mesmos detalhes. Restrinjo-me a um diagrama (ao lado), extraído do livro de Prothero, que mostra uma sequência de fósseis em ordem temporal. Note o cuidado com que se desenhou a figura. É tentador — e livros mais antigos costumavam fazer isso — desenhar sequências de fósseis com setas dos mais antigos para os mais recentes. Mas ninguém pode afirmar, por exemplo, que o Ambulocetus descende do Pakicetus. Ou que o Basilosaurus descende do Rodhocetus. Em vez disso, o diagrama adota a política mais cautelosa de sugerir, por exemplo, que as baleias descendem de um primo contemporâneo do Ambulocetus, provavelmente parecido com este (e que até poderia ser realmente o Ambulocetus). Os fósseis mostrados são reprc-sentativos de vários estágios da evolução das baleias. O desaparecimento gradual

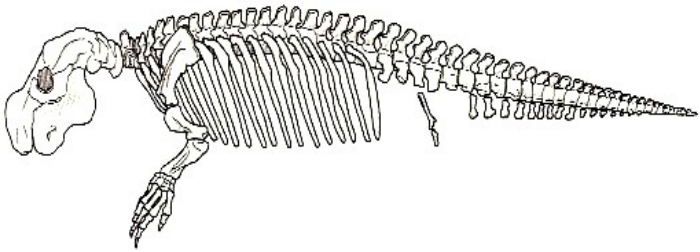
dos membros posteriores, a transformação dos membros anteriores, de pernas que andavam em nadadeiras, e o achatamento da cauda em lobos triangulares estão entre as mudanças que surgiram em elegante cascata.



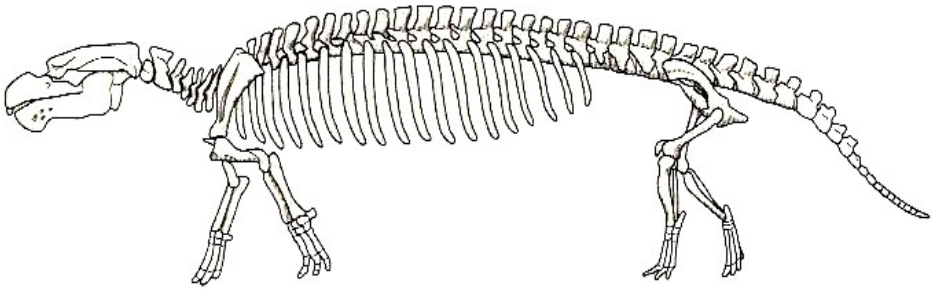
Evolução das baleias a partir de animais terrícolas, mostrando os numerosos fósseis transicionais atualmente documentados em jazidas eocênicas na África e no Paquistão (desenho de Carl Buell)

Baleias fósseis

Isso é tudo o que direi a respeito da história fóssil das baleias, pois o tema já foi muito bem exposto nos livros que mencionei. O outro grupo de mamíferos marinhos, menos numeroso e diversificado mas também totalmente aquático, é o dos sirênios — dugongos e manatis. Apesar de não ser tão bem documentado no registro fóssil, nesse grupo foi descoberto recentemente um "elo perdido" de notável beleza: O fóssil Pezosiren, o "manati ambulante" da Jamaica, aproximadamente contemporâneo do Ambulocetus, a "baleia ambulante" do Eoceno. Ele é bem parecido com um manati ou um dugongo, só que tem pernas anteriores e posteriores adequadas para andar, enquanto os outros dois têm nadadeiras na parte anterior do corpo e nenhum membro posterior. A ilustração acima mostra o esqueleto de um dugongo em cima e do Pezosiren embaixo.



Dugongo moderno



Pezosiren — *dugongo antigo*

Assim como as baleias são parentes dos hipopótamos, os sirênios o são dos elefantes, como atestam numerosas evidências, entre elas cruciais dados moleculares. No entanto, o Pezosiren provavelmente vivia como um hipopótamo, passando boa parte do tempo na água e usando as pernas para andar no fundo além de nadar. Seu crânio é inconfundivelmente de sirênio. O Pezosiren pode ou não ter sido o verdadeiro ancestral dos manatis e dugongos modernos, mas sem dúvida é muito bem talhado para o papel.

Quando este livro estava quase indo para o prelo, a revista Nature publicou a empolgante notícia da descoberta de um novo fóssil no Ártico

canadense," fechando uma lacuna na linhagem das focas, leões-marinhos e morsas modernos (coletivamente designados como "pinípedes"). O Puijila darwinii, um único esqueleto do qual foram encontrados 65% da ossatura total, remonta ao Mioceno inferior (cerca de 20 milhões de anos atrás). Essa época é tão recente que o mapa múndi era então quase igual ao de hoje. Portanto, essa foca/leão-marinho do passado (eles ainda não haviam divergido) era um animal ártico, habitante de águas geladas. As evidências indicam que ele vivia e pescava em água doce (como a maioria das lontras, com exceção das famosas lontras marinhas da Califórnia), e não no mar (como a maioria das focas modernas, exceto a famosa foca do lago Baikal). O Puijila não tinha nadadeiras, e sim pés palmados. Provavelmente corria como um cão em terra firme (em contraste com os pinípedes modernos), mas passava muito tempo na água, onde nadava como os cães, em contraste com os dois estilos adotados respectivamente pelas focas e pelos leões-marinhos modernos. O Puijila está nitidamente com um pé em cada lado da lacuna entre terra firme e água na linhagem dos pinípedes. É mais uma esplêndida adição à nossa crescente lista de "elos" que não estão mais perdidos.

Vejamos agora outro grupo de animais que voltaram da terra para a água: um exemplo particularmente intrigante porque mais tarde alguns desses animais tornaram a reverter o processo, voltando para a terra pela segunda vez! As tartarugas-marinhas, em um aspecto

importante, são menos apegadas à água do que as baleias e dugongos, pois ainda desovam na praia. Como todos os vertebrados que retornaram à vida aquática, as tartarugas não deixaram de respirar ar, mas nessa função algumas delas saem-se melhor do que as baleias. Essas tartarugas extraem oxigênio adicional da água através de duas câmaras que elas possuem na extremidade posterior do corpo, ricamente supridas de vasos sanguíneos. Uma tartaruga fluvial australiana, inclusive, obtém a maior parte do oxigênio respirando pelo traseiro (como um australiano não hesitaria em dizer).

Antes de prosseguir, não posso escapar de um maçante comentário sobre terminologia, lamentavelmente confirmando a observação de George Bernard Shaw de que "Inglaterra e Estados Unidos são dois países divididos por urna língua comum". Na terminologia vigente na Grã-Bretanha, *turtles* vivem no mar, *tortoises* vivem em terra e *terrapins* vivem em água doce ou salobra. Nos Estados Unidos, todos esses animais são turtles, não importa se vivem em terra ou na água. Lana turtle [tartaruga terrícola] soa estranho aos meus ouvidos, mas não aos de um americano, para quem as tortoises são um subconjunto das turtles que vivem em terra. Alguns americanos usam tortoise em um sentido taxonómico estrito para se referir aos Testudinidae, que é o nome científico das modernas tartarugas terrícolas. Na Grã-Bretanha, seríamos inclinados a chamar qualquer quelônio terrícola de tortoise, seja ele membro dos testudinídeos ou não (como veremos,

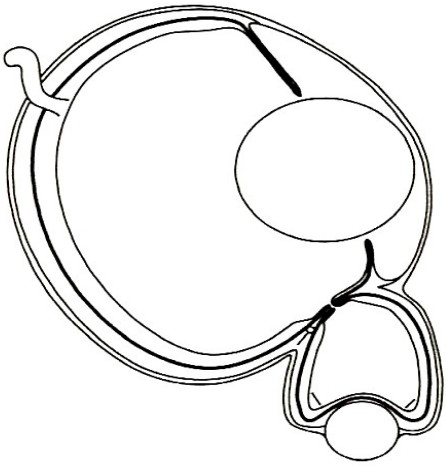
existem fósseis de tortoises que viveram em terra firme mas não são membros dos Testudinidae). Na discussão a seguir, tentarei evitar confusão, procurando esclarecer os leitores, mas é difícil. A terminologia é confusa, para dizer o mínimo. Os zoólogos usam "quelônio" para designar todos esses animais — turtles, tortoises e terrapins —, seja qual for a versão do inglês que falem.

A característica que se evidencia mais prontamente nos quelônios é o casco. Como ele evoluiu e como eram os intermediários? Onde estão os elos perdidos? De que serve metade de um casco (poderia indagar um criacionista fanático)? Eis que, assombrosamente, um novo fóssil acaba de ser descrito e responde com eloquência essa questão. Ele fez sua estréia na revista Nature quando eu já estava para entregar este livro à editora. Era uma tartaruga aquática, encontrada na China em sedimentos do Triássico Superior, com idade estimada em 220 milhões de anos. Seu nome é Odontochelys semitestacea, do qual se pode deduzir que, ao contrário de uma tartaruga ou jabuti atuais, ela tinha dentes e realmente possuía meio casco. Sua cauda era bem mais longa que a das tartarugas e jabutis modernos. Essas três características destacam-no como material de primeira para um "elo perdido". O ventre era coberto por um casco, chamado plastrão, de modo bem parecido com o visto nas tartaru¬gas marinhas modernas. Mas o animal era quase totalmente destituído da porção dorsal do casco, conhecida como carapaça. Seu dorso presumivelmente era mole, como o de um lagarto,

embora possuísse alguns trechos ósseos duros ao longo da linha mediana acima da espinha dorsal, como nos crocodilos, e as costelas eram achatadas, como se estivessem "tentando" formar os princípios evolucionários de uma carapaça.
E aqui temos uma interessante controvérsia. Os autores do artigo que apresentou o Odontochelys ao inundo, Li, Wu, Rieppel, Wang e Zhao (em atenção à brevidade, eu me referirei a eles como os autores chineses, embora Rieppel não seja chinês), pensam que seu animal realmente estava a meio cami¬nho de adquirir um casco. Há quem não ache que o Odontochelys demonstre que o casco evoluiu na água. A Nature tem o admirável costume de incumbir especialistas, não os próprios autores, de escrever um comentário sobre os artigos mais interessantes da semana, e publicá-lo numa seção intitulada "News and Views". O comentário da "News and Views" sobre o artigo a respeito do Odontochelys foi escrito por dois biólogos canadenses, Robert Reisz e Jason Head, que apresentaram uma interpretação alternativa. Talvez o casco completo tenha evoluído em terra, antes de os ancestrais do Odontochelys terem voltado para a água. E talvez o Odontochelys tenha perdido a carapaça depois de voltar para a água. Reisz e Head argumentam que algumas das tartarugas marinhas atuais, como a gigante tartaruga-de-couro, perderam ou reduziram sua carapaça, portanto sua teoria é bem plausível.
Preciso fazer uma breve digressão sobre a questão "de que serve meio casco?". Em particular, por que o Odontochelys seria blindado por baixo mas não

por cima? Talvez porque o perigo viesse de baixo, o que sugeriria que essas criaturas passavam muito tempo nadando próximo à superfície — e obviamente precisavam mesmo ir à superfície para respirar. Os tubarões atuais costumam atacar de baixo, e no mundo do Odontochelys os tubarões devem ter sido uma ameaça considerável, não havendo razão para supor que seus hábitos de caça fossem diferentes naquela época. Como exemplo paralelo, uma das mais importantes realizações da evolução, o par de olhos extra no peixe Bathylychnops (ver na página seguinte) provavelmente destina-se a detectar predadores que atacam por baixo. O olho principal olha para o exterior, como nos peixes comuns. Mas grudado na parte de baixo de cada um dos dois olhos principais há um pequeno olho extra, completo, com cristalino e retina. Se o Bathylychnops pode dar-se o trabalho (você sabe o que quero dizer, não seja pedante) de desenvolver todo um par adicional de olhos, presumivelmente para detectar ataques vindos de baixo, parece bem plausível que o Odontochelys pudesse adquirir uma blindagem destinada a protegê-lo de ataques vindos dessa mesma direção. O plastrão faz sentido. E se você quiser retrucar que tudo bem, mas então por que não ter uma carapaça na parte de cima também, só para ficar mais seguro, a resposta é fácil. Carapaças são pesadas e estorvam, é dispendioso adquiri-las e transportá-las. Na evolução sempre há trade-offs. Para os jabutis, que são terrestres, o trade-off favorece uma blindagem forte e pesada em cima e

embaixo. Para muitas tartarugas marinhas, o trade-off pende para o lado de um forte plastrão embaixo mas uma blindagem mais leve em cima. E é plausível a hipótese de que o Odontochelys só tenha levado um pouco além essa tendência.



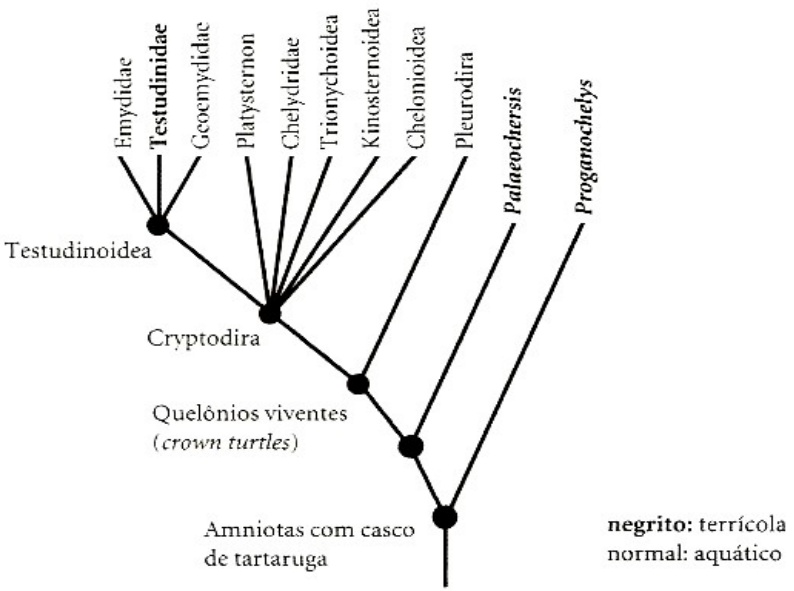
Olho extra do Bathylychnops

Se, por outro lado, os autores chineses estiverem certos e o Odontochelys estava a caminho de adquirir pela evolução um casco completo, e se o casco tiver evoluído na água, é possível que os jabutis, possuidores de cascos bem desenvolvidos, descendam de tartarugas aquáticas. Isso, como veremos, provavelmente é verdade. Mas é notável, pois significa que os jabutis atuais representam uma segunda migração da água para terra. Ninguém jamais afirmou que baleias ou dugongos retornaram a terra firme depois de invadirem a água. A história alternativa para os jabutis seria que eles viveram sempre em terra e ganharam seu casco independentemente por

evolução, em paralelo às suas primas aquáticas. Isso não é impossível; mas acontece que temos boas razões para acreditar que as tartarugas marinhas realmente voltaram a terra firme para fazer uma segunda tentativa de tornar-se terrícolas.

Se traçarmos a árvore de parentesco de todas as tartarugas e jabutis modernos com base em comparações moleculares e outras, veremos que quase todos os ramos são aquáticos (nomes em caracteres normais no cladograma). Os jabutis estão representados por caracteres em negrito, e podemos ver que os jabutis atuais constituem um único ramo, os Testudinidae, profundamente aninhados na rica ramificação que contém outros quelônios, todos aquáticos. Todos os seus primos próximos são aquáticos. Os jabutis modernos são um único ramo na galhada cujos outros integrantes são tartarugas aquáticas. Seus ancestrais aquáticos transformaram-se em tartarugas e marcharam de volta para terra firme. Esse fato é compatível com a hipótese de que o casco evoluiu na água, em uma criatura semelhante ao Odontochelys. Mas agora deparamos com outra dificuldade. Examinando a árvore de parentesco notamos que, além dos Testudiniae (todos jabutis modernos), existem dois gêneros fósseis de animais com casco completo chamados Proganochelys e Palaeochersis. Eles foram desenhados como animais terrícolas, por razões que abordaremos no próximo parágrafo. Situam-se fora dos ramos que representam as tartarugas aquáticas. Aparentemente esses dois

gêneros são terrícolas desde os tempos mais remotos.



Árvore de parentesco de jabutis e tartarugas

Antes de o Odontochelys ser descoberto, esses dois fósseis eram os mais antigos quelônios conhecidos. Como o Odontochelys, eles viveram no Triássico Superior, porém cerca de 15 milhões de anos mais tarde que o Odontochelys. Alguns especialistas reconstituíram-nos como animais de água doce, mas dados recentes situam-nos efetivamente em terra firme, como indicado pelos caracteres em negrito no diagrama. Você talvez queira saber como é que podemos identificar se animais fósseis, especialmente quando são encontrados apenas fragmentos, viveram em terra ou na água. Às vezes é muito óbvio. Os ictiossauros foram contemporâneos reptilianos dos

dinossauros, com nadadeiras e corpo hidrodinâmico. Os fósseis lembram golfinhos, e seguramente esses animais viviam como os golfinhos, na água. O caso das tartarugas e jabutis é menos óbvio. Como seria de se esperar, a maior dica está nos membros. Nadadeiras são bem diferentes de pernas que andam em terra. Walter Joyce e Jacques Gauthier, da Universidade Yale, serviram-se dessa intuição dada pelo senso comum e forneceram números para corroborá-la. Fizeram três medições fundamentais nos ossos do braço e da mão de 71 espécies de quelônios vivos. Resistirei à tentação de explicar seus elegantes cálculos e direi apenas que a conclusão deles foi clara. Esses animais tinham pernas que andavam, e não nadadeiras. Eram "jabutis", e não "tartarugas". Viviam em terra firme. Mas foram apenas primos distantes dos jabutis modernos.

Agora parece que temos um problema. Se, como acreditam os autores do artigo que descreve o Odontochelys, seu fóssil com meio casco demonstra que o casco evoluiu na água, como explicar dois gêneros de "jabutis" com casco completo em terra, 15 milhões de anos depois? Até a descoberta do Odontochelys, eu não hesitaria em dizer que o Proganochelys e o Palaeochersis eram representativos do tipo ancestral terrícola antes da volta para a água. O casco evoluiu em terra firme. Alguns jabutis com casco voltaram para o mar, como mais tarde fariam as focas, baleias e dugongos. Outros permaneceram terrícolas, mas extinguiram-se. E depois algumas tartarugas marinhas retornaram a

terra firme, originando todos jabutis modernos. É isso que eu diria — na verdade, foi o que disse no primeiro esboço deste capítulo, escrito antes do anúncio do Odontochelys. Mas esse novo achado jogou as conjecturas de volta ao caldeirão especulativo. Agora temos três possibilidades, todas igualmente fascinantes.

1. Proganochelys e Palaeochersis podem ter sido sobreviventes dos animais terrícolas que haviam anteriormente mandado alguns representantes para o mar, entre eles os ancestrais do Odontochelys. Esta hipótese sugeriria que o casco evoluiu antes em terra firme e que o Odontochelys perdeu a carapaça na água, conservando o plastrão ventral.
2. O casco pode ter evoluído na água, como aventam os autores chineses; primeiro teria evoluído o plastrão que reveste o ventre, e depois a carapaça que protege o dorso. Neste caso, como explicar o Proganochelys e o Palaeochersis, que viveram em terra depois do Odontochelys, com seu meio casco, ter vivido na água? Talvez o Proganochelys e o Palaeochersis tenham adquirido o caso independentemente na evolução. Mas há outra possibilidade:
3. Proganochelys e Palaeochersis poderiam representar um retorno anterior da água para terra firme. Não é uma idéia surpreendente e empolgante?

Já estamos razoavelmente confiantes quanto ao notável fato de que as tartarugas empreenderam uma dupla reversão para a terra firme: "jabutis" terrícolas de um tipo primevo retornaram ao ambiente aquático de seus ancestrais peixes, transformando-se em tartarugas marinhas, e depois novamente voltaram para terra firme, como uma nova encarnação de jabutis, os testudiníneos. Isso nós sabemos, ou temos quase certeza. Mas agora nos defrontamos com a hipótese adicional de que essa dupla reversão aconteceu duas vezesl Não só o processo teria gerado os jabutis modernos mas, muito antes, teria originado o Proganochelys e o Palaeochersis durante o Triássico.

Em outro livro, chamei o DNA de "Livro Genético dos Mortos". Devido ao modo como a seleção natural atua, há um sentido no qual o DNA de um animal é uma descrição textual dos mundos nos quais seus ancestrais foram naturalmente selecionados. Para um peixe, o livro genético dos mortos descreve mares ancestrais. Para nós e a maioria dos mamíferos, os primeiros capítulos do livro são todos ambientados no mar, e os mais recentes, em terra. Para baleias, dugongos, iguanas-marinhos, pinguins, focas, leões-marinhos e tartarugas, existe uma terceira seção do livro que relata seu épico retorno ao campo de prova de seu passado remoto, o mar. Mas para os terrícolas jabutis, talvez duas vezes independentemente em duas ocasiões muito separadas, existe uma quarta seção do livro dedicada a uma derradeira (será mesmo?) reemergência, um outro retorno a terra

firme. Será que existe algum outro animal para o qual o livro genético dos mortos consiste nesse tipo de palimpsesto de múltiplas guinadas evolucionárias? Como última cogitação, não posso deixar de especular sobre as formas de água doce e salobra que chamamos de "cágados", primos próximos do jabuti, Teriam seus ancestrais mudado diretamente da água do mar para a água salobra e então para água doce? Será que eles representam um estágio intermediário no caminho de volta do mar à terra? Ou será possível que eles constituam ainda outra reversão à água de ancestrais que foram jabutis modernos? Será que os quelônios andaram jornadeando em idas e vindas entre a água e a terra ao longo do tempo evolucionário? O palimpsesto poderia ser ainda mais densamente reescrito do que sugeri até aqui?

PÓS-ESCRITO

Em 19 de maio de 2009, quando eu corrigia as provas deste livro, foi anunciado o achado de um "elo perdido" entre os primatas parecidos com lémures e macacos na revista científica online PLOS One. Batizado de Darwinius masillae, ele viveu há 47 milhões de anos numa área de floresta pluvial em território da atual Alemanha. Segundo os autores, esse é o mais completo fóssil de primata já encontrado, não apenas com ossos, mas também pele, pelos, alguns órgãos internos e sua última refeição. Por mais belo que indubitavelmente seja o Darwinius masillae, ele vem encoberto em nuvens de sensacionalismo que

obscurecem o pensamento claro. Segundo a Sky News, o fóssil é a "oitava maravilha do mundo", que "finalmente confirma a teoria da evolução de Charles Darwin". Céus! A mística um tanto absurda do "elo perdido" parece não ter perdido nada do seu poder.

7- Pessoas perdidas? Foram encontradas!

O que Darwin disse a respeito da evolução humana em seu livro mais famoso, A origem das espécies, limita-se a doze auspiciosas palavras: "Uma luz será lançada sobre a origem do homem e sua história". Assim ele escreveu na primeira edição, a que sempre cito salvo menção em contrário. Na sexta (e última) edição, Darwin permitiu-se ir um pouco além, e a frase ficou assim: "Muita luz será lançada sobre a origem do homem e sua história". Gosto de imaginar sua caneta, pairando sobre a quinta edição, enquanto o grande homem judiciosamente ponderava se devia dar-se o luxo do "muita". Mesmo nessa segunda forma, a frase é calculadamente comedida.

Darwin decidiu deixar a abordagem do tema da evolução humana para um livro posterior, The descent ofman [traduzido para o português com o título A origem do homem]. Talvez não surpreenda que os dois volumes dessa obra dediquem mais espaço ao assunto do subtítulo, "e a seleção sexual" (estudada sobretudo em aves) do que à evolução humana. Não é de surpreender, porque

na época em que Darwin escreveu não dispúnhamos de fósseis que nos ligassem a nossos parentes mais próximos entre os grandes primatas. Darwin só podia observar grandes primatas vivos, e fez deles muito bom uso, argumentando corretamente (e quase sozinho) que nossos parentes vivos mais próximos eram todos africanos (gorilas e chimpanzés - naquele tempo os bonobos não eram considerados separados dos chimpanzés, mas também eles são africanos). Assim, ele predisse que, se viessem a ser encontrados fósseis de ancestrais dos humanos, seria na África. Darwin lamentou a escassez de fósseis, mas não se deixou intimidar por isso. Citando seu mentor Lyell, o mais eminente geólogo da época, Darwin ressaltou que "em todas as classes de vertebrados a descoberta de vestígios fósseis é um processo extremamente lento e fortuito", e acrescentou: "tampouco devemos esquecer que essas regiões com maior probabilidade de abrigar vestígios ligando o homem a alguma criatura extinta semelhante a um grande primata ainda não foram sondadas pelos geólogos". Ele se referia à África, e a busca não foi ajudada pelo fato de que seus sucessores imediatos desconsideraram em grande medida as suas recomendações e foram procurar na Ásia.

Pois foi mesmo na Ásia que pela primeira vez os "elos perdidos" começaram a parecer menos perdidos. Mas esses primeiros fósseis descobertos eram relativamente recentes, datados em menos de 1 milhão de anos, uma época em que os hominídeos eram bem próximos dos humanos

modernos e haviam emigrado da África e chegado ao Extremo Oriente. Foram chamados "Homem de Java" e "Homem de Pequim" em alusão aos locais onde foram descobertos. O Homem de Java foi descoberto pelo antropólogo holandês Eugene Dubois em 1891. Dubois batizou seu achado de Pithecanthropus erectus, indicando que julgava ter realizado a ambição de sua vida, encontrar o "elo perdido". Ele deparou com duas fontes opostas de discordância, o que não podia ser melhor para reforçar seu argumento: alguns disseram que seu fóssil era totalmente humano; outros, que se tratava de um gigantesco gibão. Posteriormente em sua amargurada e intratável vida, Dubois ressentiu-se da suposição de que os fósseis de Pequim descobertos mais recentemente eram semelhantes ao seu Homem de Java. Ele, que era ferozmente possessivo, para não dizer protetor, de seu fóssil, achava que só o seu Homem de Java era o verdadeiro elo perdido. Para ressaltar a distinção com relação aos vários fósseis do Homem de Pequim, Dubois descreveu-os como muito mais próximos do homem moderno, e seu Homem de Java de Trinil como um intermediário entre homem e macaco.

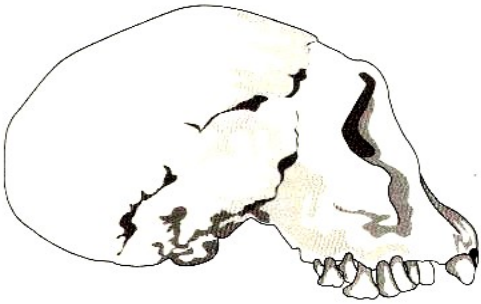
O Pitecanthropus [Homem de Java] não era um homem, e sim um gênero gigantesco aparentado dos gibões, porém superior a estes no aspecto do volume cerebral extraordinariamente grande e ao mesmo tempo distinto por sua faculdade de adotar postura e andar eretos. Possuía o dobro da cefalização [razão entre o tamanho do cérebro e o

do corpo) dos símios antropoides em geral e metade da do homem. [...]
Foi o surpreendente volume do cérebro — que é grande demais para um símio antropoide e pequeno se comparado ao cérebro humano médio, porém não menor que o menor cérebro humano — o responsável pela suposição agora quase generalizada de que o "Homem-Macaco" de Trinil, Java, era realmente um homem primitivo. Morfologicamente, porém, a calvária [cúpula do crânio] lembra acentuadamente a dos símios antropoides, especialmente o gibão.

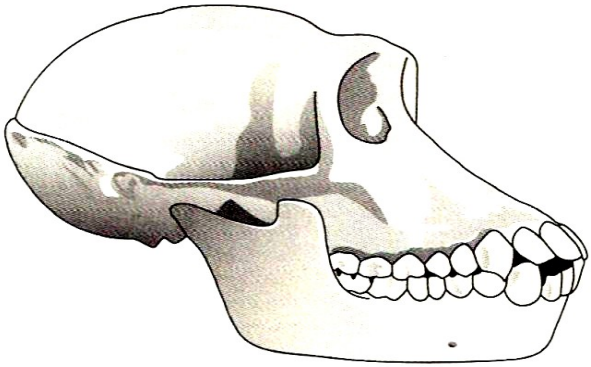
A irritação de Dubois decerto não melhorou quando interpretaram suas palavras como significando que o Pithecanthropus era apenas um gibão gigante, e não um intermediário entre gibões e humanos. Ele se desdobrou para reafirmar sua posição anterior: "Ainda acredito, agora mais do que nunca, que o Pithecanthropus de Trinil é o verdadeiro 'elo perdido'".
Os criacionistas de quando em quando usam como arma política a alegação de que Dubois recuou de sua declaração de que o Pithecanthropus era um homem-macaco intermediário. Entretanto, a organização criacionista Answers in Genesis adicionou esse à sua lista de argumentos desacreditados que agora aconselha a não usar. É louvável que a entidade mantenha uma lista como essa. Como já mencionei, hoje está demonstrado que os espécimes de Pithecanthropus de Java e Pequim são bem recentes, de menos de 1 milhão de anos atrás. Agora eles são classificados

juntamente conosco no gênero Homo, conservando o nome específico dado por Dubois, erectus: Homo erectus.
Dubois escolheu a parte errada do mundo para sua obstinada busca do "elo perdido". Era natural para um holandês seguir primeiro para as índias Orientais Holandesas, mas um homem com a sua dedicação deveria ter seguido o conselho de Darwin e ido para a África — pois foi na África que nossos ancestrais evoluíram, como veremos. Mas o que esses espécimes de Homo erectus estavam fazendo fora da África? A frase "fora da África" (out of Africa) foi tomada de empréstimo a Karen Blixen* para se referir ao grande êxodo dos nossos ancestrais da África. Mas houve dois êxodos, e é importante não confundi-los. Há relativamente pouco tempo, talvez menos de 100 mil anos atrás, bandos errantes de Homo sapiens muito parecidos conosco deixaram a África e se diversificaram, originando todas as raças que hoje encontramos: inuítes, ameríndios, nativos australianos, chineses etc. É a esse êxodo recente que normalmente se aplica o termo "saída da África". Mas houve um êxodo anterior da África, e esses erectus pioneiros deixaram fósseis na Ásia e na Europa, incluindo os espécimes de Java e Pequim. O fóssil mais antigo conhecido fora da África foi encontrado na região centro-asiática da Geórgia e apelidado de "Homem Georgiano": uma diminuta criatura cujo crânio, bem preservado, foi datado por métodos modernos em aproximadamente 1,8 milhão de anos atrás. É chamado de Homo georgicus por alguns taxonomistas (embora outros não o

reconheçam como espécie separada), para indicar que ele parece bem mais primitivo que o resto dos primeiros refugiados da África, que foram todos classificados como Homo erectus. Alguns utensílios de pedra um pouco mais antigos que o Homem Georgiano foram descobertos há pouco tempo na Malásia, desencadeando uma nova busca por ossos fósseis nessa península. Seja como for, todos esses fósseis asiáticos iniciais são bem próximos dos humanos modernos e hoje são todos classificados no gênero Homo; para nossos antecedentes ainda mais antigos, devemos ir à África. Primeiro, porém, façamos uma pausa para indagar o que deveríamos esperar de um "elo perdido".



Homo georgicus



Chimpanzé

Suponhamos, para desenvolver nosso argumento, que levamos a sério o confuso significado original do termo "elo perdido", e procuremos um intermediário entre os chimpanzés (veja acima) e nós. Não descendemos dos chimpanzés, mas bem fará quem apostar que o ancestral que temos em comum com eles era mais parecido com um chimpanzé do que com um humano. Em especial, ele não tinha um cérebro enorme como o nosso, provavelmente não andava aprumado como nós, era bem mais peludo e com certeza não possuía características humanas avançadas como a linguagem. Assim, embora devamos inflexivelmente refutar o equívoco frequente de que descendemos de chimpanzés, não faz mal perguntar como seria um intermediário entre algo parecido com um chimpanzé e um humano.

Pelos e linguagem não se fossilizam bem, mas podemos obter boas pistas sobre o tamanho do cérebro a partir do crânio e boas pistas sobre o porte a partir de todo o esqueleto (incluindo o crânio, pois o forame magno, a cavidade onde o

canal vertebral se liga à cavidade craniana, aponta para baixo nos bípedes e mais para trás nos quadrúpedes). Possíveis candidatos a elo perdido poderiam ter quaisquer dos seguintes atributos:

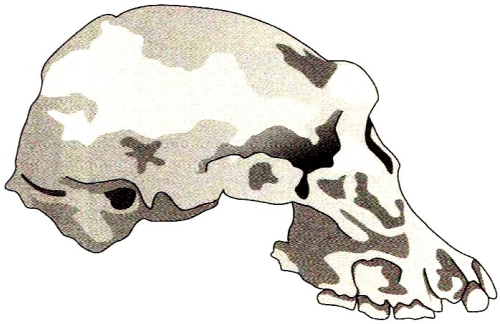
1. Tamanho de cérebro e andar intermediários: talvez uma espécie de andar trôpego e curvado em vez do porte aprumado exigido por sargentos e professoras de etiqueta.
2. Tamanho do cérebro igual ao dos chimpanzés e porte ereto dos humanos.
3. Cérebro grande, mais parecido com o humano, e andar quadrúpede como o dos chimpanzés.

Assim, tendo em mente essas possibilidades, examinemos alguns dos numerosos fósseis africanos que hoje temos à disposição, mas infelizmente Darwin não teve.

AINDA ME DIVIRTO TORCENDO...

Evidências moleculares (das quais tratarei no capítulo 10) mostram que o ancestral que tivemos em comum com os chimpanzés viveu há cerca de 6 milhões de anos ou um pouco antes; procuremos então um meio-termo e examinemos alguns fósseis de 3 milhões de anos. O mais famoso fóssil dessa safra é "Lucy", classificado por seu descobridor na Etiópia, Donald Johanson, como Australopithecus afarensis. Infelizmente só temos fragmentos do crânio de Lucy, mas sua mandíbula está incomumente bem preservada. Ela era

pequena pelos padrões modernos, embora não tão diminuta quanto o Homo floresiensis, a criaturinha que os jornais tratam pelo irritante apelido de "Hobbit", morta em uma época exasperantemente recente na ilha indonésia de Flores. O esqueleto de Lucy é completo o suficiente para sugerir que ela andava ereta no chão, mas provavelmente também se refugiava em árvores, onde subia com agilidade. Há bons indícios de que todos os ossos atribuídos a Lucy realmente provêm de um único indivíduo. O mesmo não se aplica à chamada "Primeira família", uma coleção de ossos de no mínimo treze indivíduos, semelhantes a Lucy e aproximadamente da mesma safra, que, não se sabe como, foram sepultados juntos, também na Etiópia. Os fragmentos de Lucy e da Primeira Família nos dão uma boa idéia de como era o Australopithecus afarensis, mas é difícil lazer uma reconstituição autenticamente completa com pedaços de muitos indivíduos diferentes. Felizmente, um crânio razoavelmente completo conhecido como AL 444-2 (abaixo) foi descoberto em 1922 na mesma área da Etiópia, confirmando as reconstituições provisorias que haviam sido feitas.



AL 444-2

A conclusão dos estudos de Lucy e seus parentes é que eles tinham o cérebro de tamanho semelhante ao dos chimpanzés, mas, em contraste com estes, andavam eretos nas pernas traseiras, como nós — o segundo dos nossos três cenários hipotéticos. As "Lucys" pareciam-se um pouquinho com chimpanzés que andassem eretos. Seu bipedalismo é eloquentemente confirmado pelo comovente conjunto de pegadas descoberto por Mary Leakey em cinza vulcânica fossilizada. Isso foi mais ao sul, em Laeotli, Tanzânia, e as pegadas são mais antigas do que Lucy e o AL 444-2: cerca de 3,6 milhões de anos atrás. Costuma-se atribuí-las a um par de Australopithecus afarensis que andavam juntos (de mãos dadas?), mas o que interessa é que, há cerca de 3,6 milhões de anos, um símio ereto andava pela Terra com dois pés que eram bem parecidos com os nossos, embora seu cérebro tivesse o tamanho do de um chimpanzé.

Parece bem provável que a espécie que chamamos de Australopithecus afarensis, a espécie de Lucy, tenha incluído nossos ancestrais

de 3 milhões de anos atrás. Outros fósseis foram classificados em diferentes espécies do mesmo gênero, e é praticamente certo que nossos ancestrais foram membros desse gênero. O primeiro australopitecino descoberto, o espécime-tipo do gênero, foi o chamado Bebê de Taung. Aos três anos e meio, o Bebê de Taung foi comido por uma águia. Isso é evidenciado pelo fato de as marcas de lesões nas cavidades oculares do fóssil serem idênticas às feitas por águias modernas em macacos modernos quando elas lhes arrancam os olhos. Coitadinho de você, Bebê de Taung, gritando pelos ares nas garras da fúria aquilina — não lhe serviria de consolo a fama a que estava destinado, 2,5 milhões de anos no futuro, como espécime-tipo do Australopithecus africanus. Pobre mãe de Taung, que ficou chorando no Plioceno.

Espécime-tipo é o primeiro indivíduo de uma nova espécie a ser nomeado e receber o rótulo virgem em um museu. Teoricamente, achados posteriores podem ser comparados com o espécime-tipo para ver se são compatíveis. O Bebê de Taung foi descoberto e ganhou nomes novos de gênero e espécie, dados pelo antropólogo sul-africano Raymond Dart em 1924.

Qual é a diferença entre "espécie" e "gênero"? Tiremos rapidamente essa questão do caminho antes de prosseguir. Gênero é a divisão mais abrangente. Uma espécie pertence a um gênero e, em muitos casos, compartilha o gênero com outras espécies. Homo sapiens e Homo erectus são duas espécies do gênero Homo. Australopithecus africanus e Australopithecus afarensis são duas

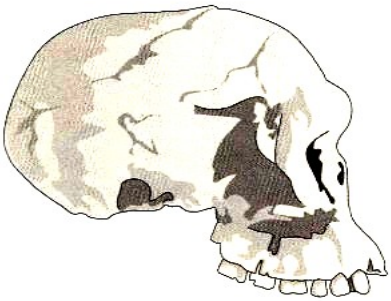
espécies do gênero Australopithecus. O nome latino de um animal ou planta sempre inclui um nome genérico (com inicial maiúscula) seguido de um nome específico (sem maiúscula). Ambos são grafados em itálico. Às vezes há um nome adicional de subespécie em seguida ao nome da espécie, como em Homo sapiens neanderthalensis. Os taxonomistas costumam discutir por causa de nomes. Muitos, por exemplo, falam em Homo neanderthalensis, e não em Homo sapiens neanderthalensis, elevando o homem de Neandertal de subespécie a espécie. Nomes genéricos e nomes específicos também são disputados, e muitas vezes mudam com as sucessivas revisões na literatura científica. O Paranthropus boi-sei já foi conhecido como Zinjanthropus boisei e Australopithecus boisei e muitos ainda se referem a ele informalmente como australopitecino robusto — em contraste com as duas espécies "gráceis" (esguias) de Australopithecus mencionadas acima. Uma das principais mensagens deste capítulo relaciona-se à natureza um tanto arbitrária da classificação zoológica.

"Sra. Ples"

Raymond Dart deu o nome de Australopithecus ao Bebê de Taung, o espécime-tipo do gênero, e desde então estamos presos a esse nome deprimentemente sem imaginação para nosso ancestral. Ele significa simplesmente "símio do sul". Não tem nada a ver com Austrália, que significa simplesmente "país meridional". Fica-se pensando que Dart poderia ter atinado com um nome mais imaginativo para um gênero tão importante. Ele poderia até ter conjecturado que outros membros desse gênero viriam a ser descobertos ao norte do equador.

Um pouco mais antigo que o Bebê de Taung, um dos crânios mais primorosamente preservados que temos, mesmo faltando-lhe a mandíbula, é chamado de sra. Ples. Ela, que na verdade pode ter sido um macho miúdo e não uma fêmea grande, ganhou esse apelido porque foi originalmente classificada no gênero Plesianthropus. Esse nome significa "quase humano", e é melhor do que "símio do sul". Alguém poderia torcer para que, quando mais tarde os taxonomistas decidissem que a sra. Ples e

seus parentes eram realmente do mesmo gênero que o Bebê de Taung, Plesianthropus passasse a ser a designação de todos eles. Infelizmente, as regras da nomenclatura zoológica são de um rigor pedante. A prioridade da nomeação tem precedência sobre o bom senso e a adequação. "Símio do sul" pode ser um nome sem graça, mas não importa: ele antecedeu o muito mais sensato Plesianthropus, e parece que estamos presos a ele, a menos que — ainda me divirto torcendo — alguém venha a descobrir, em alguma empoeirada gaveta de um museu sul-africano, um fóssil há muito tempo esquecido, claramente do mesmo tipo que a sra. Ples e o Bebê de Taung, mas com um rótulo assim rabiscado: "espécime tipo Hemianthropus, 1920". De um golpe, todos os museus do mundo imediatamente seriam obrigados a trocar o rótulo de seus espécimes e modelos de Australopithecus, e todos os livros e artigos sobre a pré-história dos liominídeos teriam de fazer o mesmo. Processadores de texto no mundo todo fariam hora extra buscando ocorrências de Australopithecus, para substitur por Hemianthropus. Não me ocorre nenhum outro caso no qual regras internacio¬nais sejam poderosas o bastante para ditar uma mudança linguística mundial e retroativa da noite para o dia.



KNM ER 1813

KNM ER 1470

Passemos à minha próxima observação importante acerca dos alegados elos perdidos e da arbitrariedade dos nomes. Obviamente, quando o nome da sra. Ples foi mudado de Plesianthropus para Australopithecus nada mudou no mundo real. Presumo que ninguém seria tentado a pensar de outro modo. Mas considere um caso semelhante no qual um fóssil é reexaminado e transferido, por razões anatômicas, de um gênero para outro. Ou no qual sua condição de gênero é disputada — coisa que ocorre frequentemente — por antropólogos rivais. Afinal, e essencial para a lógica da evolução que tenham existido indivíduos situados exatamente na fronteira entre dois gêneros, como Australopithecus e Homo. É fácil

olhar para o crânio da sra. Ples e o de um Homo sapiens moderno e dizer, sim, não há dúvida de que esses dois crânios pertencem a gêneros distintos. Se supusermos, como quase todo antropólogo hoje em dia aceita, que todos os membros do gênero Homo descendem de ancestrais pertencentes ao gênero que chamamos de Australopithecus, decorre necessariamente que, em algum ponto na cadeia de descendência de uma espécie à outra, tenha havido pelo menos um indivíduo situado exatamente na fronteira. Essa é uma questão importante, portanto me demorarei nela um pouco mais.

Tendo em mente a forma do crânio da sra. Pies como representativo do Australopithecus africanas há 2,6 milhões de anos, examine o primeiro crânio na página ao lado, chamado de KNM ER 1813. Depois observe o crânio seguinte, chamado de KNM ER 1470. Ambos são datados de aproximadamene 1,9 milhão de anos atrás, e ambos são classificados pela maioria dos especialistas no gênero Homo. Hoje, 1813 é classificado como Homo habilis, mas nem sempre foi assim. Até recentemente 1470 também era, mas agora estão tentando reclassificá-lo como Homo rudolfensis. Mais uma vez, perceba como nossos nomes são volúveis e transitórios. Mas não importa: parece que ambos estão consensualmente consolidados no gênero Homo. A óbvia diferença em relação à sra. Ples e seus parentes é que ela possuía a face mais projetada para a frente e uma caixa craniana menor. Em ambos os aspectos, 1813 e 1870 parecem mais

humanos, e a sra. Ples, mais "simiesca".
Veja agora o crânio abaixo, chamado de Twiggy. Também normalmente o classificam hoje como Homo habilis. Mas seu focinho proeminente lembra mais a sra. Ples do que 1470 ou 1813. Talvez você não se surpreenda quando souber que Twiggy foi classificada por alguns antropólogos no gênero Australopithecus e por outros no Homo. De fato, cada um desses três fósseis foram, em vários momentos, classificados como Homo habilis e Australopithecus habilis.

"Twiggy"

Como já mencionei, alguns especialistas em certos momentos deram a 1470 um diferente nome de espécie, mudando habilis para rudolfensis. E, para rematar, o nome específico rudolfensis foi afixado a ambos os nomes de gênero, Australopithecus e Homo. Em suma, esses três fósseis já foram chamados, por diferentes autoridades em momentos diferentes, com os seguintes conjuntos de nomes:

KNM ER 1813: Australopithecus habilis, Homo habilis
KNM ER 1470: Australopithecus habilis, Homo habilis, Australopithecus rudolfensis, Homo rudolfensis
OH 24 ("Twiggy"): Australopithecus habilis, Homo habilis
Tamanha confusão de nomes deveria abalar nossa confiança na ciência evolucionária? Muito pelo contrário. É exatamente o que devemos esperar, considerando que todas essas criaturas são intermediários evolucionários, elos que estavam perdidos mas não estão mais. Deveríamos ficar muito preocupados, isto sim, se não existissem intermediários tão próximos de fronteiras que temos dificuldade para classificá-los. Aliás, da perspectiva evolucionária, atribuir nomes separados deveria, na realidade, tornar-se impossível se o registro fóssil fosse mais completo. De certa forma, é uma sorte que os fósseis sejam tão raros. Se tivéssemos um registro fóssil contínuo e ininterrupto, a atribuição de nomes distintos a espécies e gêneros ficaria impossibilitada ou seria, no mínimo, muito problemática. Isso nos autoriza a chegar a uma interessante conclusão: a fonte predominante de discordância entre os paleoantropólogos — se determinado fóssil pertence a esta ou àquela espécie — é absolutamente vã.
Imagine a situação hipotética de que, por um golpe de sorte, fôssemos abençoados com um registro fóssil contínuo de toda a mudança evolucionária, sem nenhum elo perdido. Agora

observe os quatro nomes latinos que foram dados a 1470. A primeira vista, a mudança de habilis para rudolfensis pareceria ser uma mudança menor do que a de Australopithecus para Homo. Duas espécies de um mesmo gênero são mais parecidas entre si do que dois gêneros. Não sao? Essa não é toda a base da distinção entre o nível dos gêneros (por exemplo, Homo ou Pan como gêneros alternativos de grandes primatas africanos) e o nível das espécies (por exemplo, troglodytes ou paniscus entre os chimpanzés) na hierarquia da classificação? Bem, sim, isso é correto quando estamos classificando animais modernos, que podemos considerar as pontas dos raminhos da árvore evolucionária, com todos os seus antecessores na parte interna da copa da árvore confortavelmente mortos ou fora do caminho. Naturalmente, os raminhos que se encontram uns com os outros mais no interior da copa da árvore tenderão a ser menos parecidos do que aqueles cuja junção (o ancestral comum mais recente) seja mais próxima das pontas. O sistema funciona, contanto que não tentemos classificar os antecessores mortos. Mas assim que incluímos nosso registro fóssil hipoteticamente completo, todas as nítidas separações desaparecem. Nomes distintos tornam-se, como regra geral, impossíveis de ser aplicados. Podemos ver isso com facilidade voltando ininterruptamente no tempo, como fizemos com os coelhos no capítulo 2.

Conforme regredirmos no tempo e reconstituirmos a linhagem do Homo sapiens moderno, teremos de chegar a um momento em que a diferença em

relação às pessoas vivas é suficientemente grande para merecer outro nome de espécie, digamos, Homo ergaster. No entanto, a cada passo do caminho, os indivíduos eram, presumivelmente, semelhantes a seus pais e a seus filhos o bastante para ser classificados na mesma espécie. Agora voltamos mais no tempo, reconstituindo a descendência do Homo ergaster, e chegaremos fatalmente a um momento em que vemos indivíduos que diferem o suficiente do esgaster "típico" para merecer um nome de espécie distinto, digamos Homo habilis. E agora chegamos à parte principal deste argumento. Quando retrocedermos ainda mais, em algum ponto teremos de começar a ver indivíduos que diferem do Homo sapiens moderno o suficiente para merecer um nome de gênero distinto, por exemplo Australopithecus. O problema é que "suficientemente diferente do Homo sapiens moderno" é uma coisa, e "suficientemente diferente do Homo mais antigo", aqui designado como Homo habilis, é bem outra. Imagine o primeiro espécime de Homo habilis que nasceu. Os pais dele eram Australopithecus. Ele pertenceu a um gênero diferente do de seus pais? Ridículo. No entanto, certamente é verdade. Mas não é a realidade que está errada, é a nossa insistência humana em inserir tudo numa categoria nomeada. Na verdade, não existiu nenhuma criatura que tenha sido o primeiro espécime de Homo habilis. Não existiu primeiro espécime de nenhuma espécie ou gênero, ordem, classe e filo. Cada criatura nascida teria sido classificada — se

houvesse um zoólogo presente para fazer a classificação — como pertencente à mesmíssima espécie de seus pais e de seus filhos. Contudo, com os olhos da modernidade e com o benefício — sim, neste sentido paradoxal, benefício — do fato de que a maioria dos elos está perdida, a classificação em espécies, gêneros, famílias ordens, classes e filos distintos torna-se possível.

Eu bem que gostaria que tivéssemos uma trilha ininterrupta de fósseis, um registro cinematográfico de toda a mudança evolucionária já ocorrida. Gostaria, sobretudo, porque iria achar o máximo ver a cara de tacho dos zoólogos e antropólogos que se engalfinham a vida inteira por causa de um fóssil que deve pertencer a esta ou àquela espécie ou gênero. Senhores — e me pergunto por que parece quase nunca serem as senhoras —, vocês estão brigando por causa de palavras e não da realidade. Como disse o próprio Darwin em A origem do homem: "Em uma série de formas que passaram de modo gradual e imperceptível de alguma criatura simiesca ao homem como ele hoje existe, seria impossível fixar em algum ponto definido onde o termo 'homem' deve ser usado".

Examinemos os fósseis, atentando para alguns elos mais recentes entre os que não estão mais perdidos mas estavam na época de Darwin. Que intermediários podemos encontrar entre os humanos e as várias criaturas, como 1470 e Twiggy, que são chamadas ora de Homo, ora de Australopithecus? Já encontramos alguns deles, como o Homem de Java e o Homem de Pequim,

normalmente classificados como Homo erectus. Mas esses dois viveram na Ásia, e existem boas evidências de que a maior parte da nossa evolução humana aconteceu na África. O Homem de Java, assim como o Homem de Pequim e seus parentes, foram emigrantes da África, o continente-mãe. Seus equivalentes na própria África costumam ser hoje classificados como Homo ergaster, embora por muitos anos todos fossem chamados de Homo erectus — mais um exemplo da volubilidade dos nossos procedimentos nomenclaturais. O mais famoso espécime de Homo ergaster e um dos mais completos fósseis pré-humanos já encontrados é o Garoto de Turkana, ou Garoto de Nariokotome, descoberto por Kamoya Kimeu, o maior descobridor de fósseis da equipe de paleontólogos de Richard Leakey.

Homo erectus

O Garoto de Turkana viveu há aproximadamente 1,6 milhão de anos e morreu com cerca de onze anos de idade. Há indícios de que ele cresceria até

1,80 m se chegasse à idade adulta. O volume projetado para seu cérebro adulto teria sido de aproximadamente 900 centímetros cúbicos (cc). Esse valor é típico do cérebro do Homo ergasterierectus, que variava em torno de 1000 cc. É significativamente menor que o do cérebro humano moderno, com mais ou menos 1300 ou 1400 cc, porém maior que o do Homo habilis (aproximadamente 600 cc), o qual, por sua vez, era maior que o do Australopithecus (cerca de 400 cc) e o dos chimpanzés (aproximadamente o mesmo). O leitor deve lembrar-se de que concluímos que nosso ancestral de 3 milhões de anos atrás tinha cérebro como o de um chimpanzé, mas andava nas pernas traseiras. Com isso, podemos presumir que a segunda metade da história, de 3 milhões de anos atrás até tempos recentes, seria uma história de tamanho crescente do cérebro. E, de fato, isso é verdade.

O Homo ergaster/erectus, do qual possuímos muitos espécimes fósseis, é um elo intermediário muito persuasivo, não mais perdido, entre o Homo sapiens atual e o Homo habilis de 2 milhões de anos atrás, o qual, por sua vez, é um ótimo elo com o Australopithecus de 3 milhões de anos atrás, que, como vimos, poderia muito bem ser descrito como um chimpanzé que andava aprumado. De quantos elos você precisa para admitir que eles não estão mais "perdidos"? E podemos também preencher a lacuna entre o Homo ergaster e o Homo sapiens moderno? Sim: temos um rico filão de fósseis, abrangendo as últimas centenas de milhares de anos, que são

intermediários entre eles. Alguns receberam nome de espécie, como Homo heidelbergensis, Homo rhodesiensis e Homo neanderthalensis. Outros (e, em alguns casos, esses mesmos) são chamados de Homo sapiens "arcaicos". Porém, como não me canso de repetir, nomes não importam. O que importa é que os elos não estão mais perdidos. Existe uma profusão de intermediários.

VÁ E VEJA

Temos, pois, uma boa documentação fóssil da mudança gradual, desde Lucy, o "chimpanzé que andava ereto" de 3 milhões de anos atrás, até nós no presente. O que fazem os negadores da história diante dessa evidência? Alguns simplesmente a negam. Deparei com um caso desses durante uma entrevista que dei para o documentário Thegenius of Charles Darwin, transmitido pelo Chanel Four em 2008. Eu estava entrevistando Wendy Wright, presidente da organização feminina Concerned Women for America. A opinião dessa senhora de que "a pílula do dia seguinte é a melhor amiga do pedófilo" já dá uma boa idéia de sua capacidade de raciocínio, e ela correspondeu totalmente às expectativas durante nossa entrevista. Só uma pequenina parte da entrevista foi apresentada no documentário para a televisão. O que se segue é uma transcrição bem mais completa, mas obviamente, para os objetivos deste capítulo, limitei-me aos trechos nos quais debatemos sobre o registro fóssil da linhagem humana.

Wendy: Volto a dizer que os evolucionistas continuam sem ciência para comprovar isso. O que acontece é que a ciência que não promove a causa da evolução é censurada. Por exemplo, a falta de evidências de uma evolução que leva de uma espécie a outra. Se fosse assim, se a evolução houvesse acontecido, então com certeza, quer fosse de aves para mamíferos ou, ou, até além disso, com certeza existiria pelo menos uma evidência.

Richard: Existe uma quantidade colossal de evidências. Desculpe, mas vocês ficam repetindo isso como se fosse um mantra porque só ouvem uns aos outros. Poderiam pelo menos abrir os olhos e examinar as evidências.

Wendy: Então me mostre, me mostre os ossos, me mostre a carcaça, me mostre as evidências dos estágios intermediários de uma espécie a outra.

Richard: Toda vez que é encontrado um fóssil que é intermediário entre uma espécie e outra, vocês dizem "Ah, agora temos duas lacunas onde antes só existia uma". Acontece que quase todo fóssil encontrado é intermediário entre uma coisa e outra.

Wendy [rindo]: Se fosse assim, o Museu Smithsoniano de História Natural estaria cheio desses exemplos, só que não está.

Richard: Está, está sim... No caso dos humanos,

desde o tempo de Darwin temos agora uma quantidade enorme de evidências de intermediários em fósseis humanos, temos várias espécies de Australopithecus por exemplo, e... e temos o Homo habilis — esses são intermediários entre o Australopithecus, que foi uma espécie mais antiga, e o Homo sapiens, que é uma espécie mais recente. Então por que vocês não vêem esses intermediários?

Wendy: ... se a evolução tivesse verdadeiras evidências, elas estariam expostas em museus, e não apenas em ilustrações.

Richard: Mas eu acabei de mencionar o Australopithecus, o Homo habilis, o Homo erectus, o Homo sapiens — Homo sapiens arcaico e depois o Homo sapiens moderno —, esta é uma bela série de intermediários.

Wendy: Vocês ainda não têm as evidências materiais, portanto...
Richard: As evidências materiais estão lá. Vá ao museu e veja-as... Não as tenho aqui, obviamente, mas você pode ir ao museu e verá o Australopithecus, verá o Homo habilis, verá o Homo erectus, verá o Homo sapiens arcaico e o Homo sapiens moderno. Uma bela série de intermediários. Por que continua dizendo "Me mostre as evidências" se eu já fiz isso? Vá ao museu e veja.

Wendy: Pois eu fui. Eu fui aos museus, e há muitos

de nós que ainda não estão convencidos...

Richard: Você viu? Você viu o Homo erectus?

Wendy: E acho que esse empenho, esse empenho tão grande em tentar nos persuadir e nos censurar, parece vir de uma frustração pelo fato de tanta gente ainda não acreditar na evolução. Ora, se os evolucionistas tivessem tanta confiança naquilo em que acreditam não haveria o empenho em censurar informações. Isso mostra que a evolução ainda é falha e é questionável.

Richard: Eu estou... confesso que estou frustrado. Não se trata de supressão, é o fato de que lhe falei sobre cinco fósseis... [Wendy ri] ... e você parece não fazer caso do que estou dizendo... Por que você não vai ver esses fósseis?

Wendy: ... Se eles estivessem nos museus, onde já estive tantas vezes, então eu os examinaria objetivamente, mas o que torno a dizer é...

Richard: Eles estão no museu.

Wendy: O que torno a dizer é que a filosofia da evolução pode conduzir a ideologias que têm sido muito destrutivas para a raça humana...

Richard: Sim, mas não seria uma boa idéia se, em vez de ficarem ressaltando interpretações errôneas do darwinismo, que foram abominavelmente usadas para fins políticos, vocês tentassem entender o darwinismo, para estar em

condições de contrapor-se a esses horríveis mal-entendidos?

Wendy: Ora, na verdade somos frequentemente forçados pela agressividade dos que defendem a evolução. Não somos barrados dessas informações que vocês vivem apresentando. Não é que elas sejam desconhecidas por nós, pois não conseguimos escapar delas. Elas são jogadas na nossa cara o tempo todo. Mas acho que a frustração de vocês provém do fato de que tantos de nós que viram as suas informações ainda não engoliram a sua ideologia.

Richard: Você viu o Homo erectus? Você viu o Homo habilis? Você viu o Australopitecus? Essa é a pergunta que lhe faço.

Wendy: O que eu vi é que, nos museus e nos livros didáticos, sempre que afirmam estar mostrando as diferenças evolucionárias de uma espécie a outra é com base em ilustrações e desenhos... não em evidências materiais.

Richard: Bem, talvez você tenha de ir ao Museu de Nairobi para ver os fósseis originais, mas você pode ver os moldes dos fósseis — cópias exatas desses fósseis em qualquer museu importante que resolva visitar.

Wendy: Nossa, posso saber por que você é tão veemente? Por que é assim tão importante que todo mundo acredite no que você acredita?

Richard: Não estou falando de crença. Estou falando de fatos. Eu lhe falei sobre determinados fósseis, e toda vez que lhe pergunto sobre eles você foge da pergunta, muda de assunto.

Wendy:... Deveriam existir toneladas de evidências materiais, e não apenas uma coisa isolada, mas ainda assim isso não é evidência.

Richard: Por acaso escolhi fósseis de hominídeos porque achei que você se interessaria mais por eles, mas você poderá encontrar fósseis semelhantes de qualquer grupo de vertebrados que desejar.

Wendy: Mas volto à pergunta de por que é tão importante para você que todo mundo acredite na evolução...

Richard: Não gosto da palavra acreditar. Prefiro apenas pedir às pessoas que vejam as evidências, e estou pedindo a você que veja as evidências... Quero que você vá aos museus e veja os fatos e não acredite em quem lhe disse que não existem evidências. Vá e veja as evidências.

Wendy [rindo]: Sim, e o que eu diria...

Richard: Não é engraçado. Vá mesmo. Vá. Eu lhe falei sobre fósseis de hominídeos, e você pode ver a evolução do cavalo, você pode ver a evolução dos primeiros mamíferos, você pode ver a evolução dos peixes, você pode ver a transição de peixes para anfíbios e répteis terrestres. Qualquer

uma dessas coisas você encontrará em qualquer bom museu. Então abra os olhos e veja os fatos!

Wendy: E eu digo: abra você os olhos e veja as comunidades que foram construídas pelos que acreditam em um Deus amoroso que criou cada um de nós...

Pode parecer, nesse diálogo, que eu estava sendo desnecessariamente obstinado em repetir o pedido para que ela fosse ao museu, mas era o que eu realmente pretendia. Essa gente foi treinada para dizer: "Não existem fósseis, mostre-me as evidências, mostre-me pelo menos um fóssil...". E dizem isso tantas vezes que acabam acreditando. Por isso, experimentei mencionar três ou quatro fósseis a essa mulher e não deixar que ela escapasse simplesmente desconsiderando-os. Os resultados são deprimentes, e exemplificam bem a tática mais comum usada pelos negadores da história quando são confrontados com as evidências da história: simplesmente não faça caso e repita o mantra: "Mostre-me os fósseis. Onde estão os fósseis? Não existem fósseis. Vamos, me mostre um único fóssil intermediário, é só o que eu peço...".
Outros se embriagam com nomes e com a inevitável tendência que têm os nomes de criar falsas divisões onde não existe nenhuma. Cada fóssil que potencialmente poderia ser um intermediário é sempre classificado ou como Homo ou como Australopithecus. Nenhum jamais é classificado como intermediário. Por isso não há

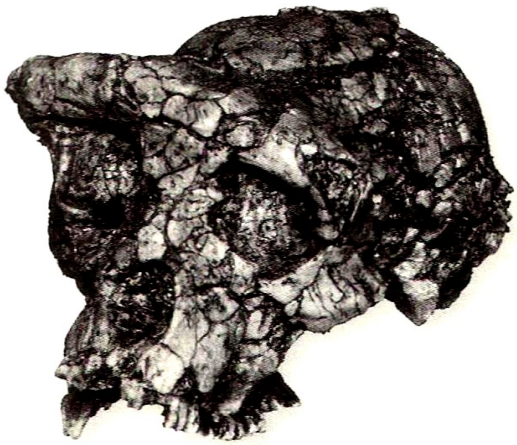
intermediários. Porém, como já expliquei, essa é uma inevitável consequência das convenções da nomenclatura zoológica, e não um fato do mundo real. O mais perfeito intermediário que pudéssemos imaginar ainda se encontraria inserido ou entre os Homo ou entre os Australopithecus. Aliás, é provável que ele viesse a ser chamado de Homo por metade dos paleontólogos e de Australopithecus pela outra metade. E é uma lástima que, em vez de se reunirem e concluir que os fósseis ambiguamente intermediários são bem o que devemos prever com base na teoria evolucionária, provavelmente podemos predizer que os paleontólogos dariam uma impressão totalmente falsa, parecendo quase chegar às vias de fato por causa de discordâncias terminológicas.

O problema lembra um pouco a distinção legal entre um adulto e um menor de idade. Para fins legais e para decidir se um jovem tem idade para votar ou prestar o serviço militar, é necessário fazer uma distinção absoluta. Em 1969 a idade legal para votar na Grã-Bretanha foi reduzida de 21 para dezoito anos (em 1971 os Estados Unidos fizeram a mesma mudança). Agora se fala em baixá-la para dezesseis. Mas qualquer que seja a idade legal para votar, ninguém realmente acha que quando o relógio dá meia-noite no dia do décimo oitavo aniversário (ou vigésimo primeiro, ou décimo sexto) você verdadeiramente se torna uma pessoa diferente. Ninguém acredita que existem dois tipos de pessoas, crianças e adultos, sem "intermediários". Obviamente, todos

compreendemos que todo o período de crescimento é um longo exercício de intermediação. Alguns de nós, pode-se dizer, nunca chegaram a crescer realmente. De modo análogo, a evolução humana, de algo como o Australopithecus afarensis ao Homo sapiens, consistiu em uma ininterrupta série de pais que geraram filhos que sem dúvida seriam classificados, por um taxonomista contemporâneo, na mesma espécie de seus pais. Na posição de quem hoje olha o passado, e por razões que não estão longe de ser legalistas, taxonomistas modernos insistem em pregar um rótulo em cada fóssil que diga obrigatoriamente algo como Australopithecus ou Homo. Rótulos de museus não podem, de jeito nenhum, dizer "intermediário entre Australopithecus africanas e Homo habilis". Os negadores da história agarram-se a essa convenção nonenclatural como se ela fosse evidência de uma ausência de intermediários no mundo real. Ora, assim também poderíamos dizer que nao existem adolescentes, pois cada pessoa que olhamos ou é um adulto votante (maior de dezoito anos) ou é uma criança não votante (menor de dezoito anos). Equivale a dizer que a necessidade legal de um limiar para a idade de votar prova que a adolescência não existe.

Voltemos aos fósseis. Se os apologistas do criacionismo estiverem certos, o Australopithecus "é só um macaco", portanto seus predecessores são irrelevantes para a busca de "elos perdidos". Ainda assim, podemos examiná-los. Existem alguns vestígios, embora muito fragmentários. O

Ardipithecus, que viveu há 4-5 milhões de anos, é conhecido sobretudo com base em dentes, mas foram encontrados ossos do crânio e do pé em número suficiente para indicar, ao menos para a maioria dos anatomistas que o estudaram, que ele andava ereto. A conclusão bem parecida chegaram os respectivos descobridores de dois fósseis ainda mais antigos, o Orrorin ("Homem do Milênio") e o Sahelanthropus ("Toumai", abaixo).



Sahelanthropus

O Sahelanthropus destaca-se por ser antiquíssimo (6 milhões de anos, próximo da idade do ancestral que temos em comum com os chimpanzés) e por ter sido encontrado no extremo ocidental do vale do Rift (no Chade, onde o nome "Toumai" significa "esperança de vida"). Outros paleoantropólogos mostram ceticismo quanto à afirmação, pelos descobridores, de que o Orrorin e o Sahelanthropus eram bípedes. E, como um cínico poderia salientar, para cada um desses fósseis

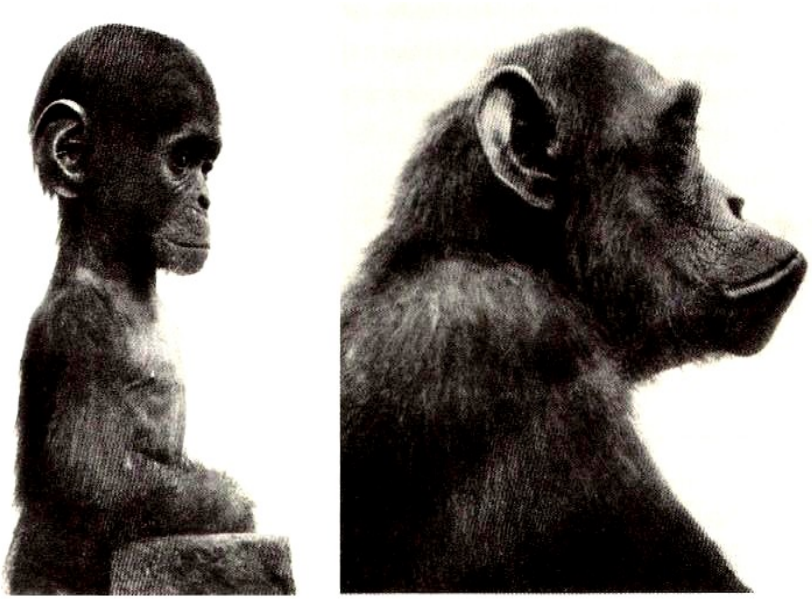
problemáticos, parte dos que duvidam é composta de descobridores de outros!
A paleoantropologia, mais do que outros campos da ciência, é tristemente assolada - ou será estimulada? — por rivalidades. Temos de admitir que o registro fóssil que liga o símio que andava ereto, Australopithecus, ao ancestral (presumivelmente) quadrúpede que temos em comum com os chimpanzés ainda é pobre. Não sabemos como os nossos ancestrais passaram a andar com as pernas traseiras. Precisamos de mais fósseis. Mas ao menos exultemos com o bom registro fóssil de que, ao contrário de Darwin, hoje dispomos, mostrando a transição evolucionária do Australopithecus, com seu cérebro do tamanho do de um chimpanzé, ao Homo sapiens moderno, com nosso crânio abalonado e cérebro grande.
Ao longo de toda esta seção reproduzi figuras de crânios e sugeri que os comparássemos. Você talvez tenha notado, por exemplo, a protrusão do focinho em alguns fósseis, ou das arcadas superciliares. Em alguns casos a diferença é muito sutil, o que ajuda a avaliar as transições graduais de um fóssil para outro posterior. Mas agora quero introduzir uma complicação que se desdobrará em uma questão interessante em si mesma. As mudanças que ocorrem durante a vida de um indivíduo conforme ele cresce são, em qualquer caso, muito mais drásticas do que as que vemos quando comparamos adultos de sucessivas gerações.
O crânio abaixo é de um chimpanzé pouco antes de nascer. É evidente que ele difere totalmente do

crânio de chimpanzé adulto mostrado na página 179 e se parece bem mais com um crânio humano (de adulto e de bebê).

Chimpanzé pouco antes do nascimento

Há uma imagem muitas vezes reproduzida (ver abaixo) de dois chimpanzés, um bebê e um adulto, que é frequentemente usada para ilustrar a interessante idéia de que, na evolução humana, características juvenis conservam-se na idade adulta (ou — o que não necessariamente é a mesma coisa — que nos tornamos sexualmente maduros enquanto nosso corpo continua juvenil). Achei que essa figura parecia boa demais para ser verdadeira e enviei-a a meu colega Desmond Morris, pedindo sua opinião de especialista. Perguntei: poderia ser forjada? Ele já vira algum jovem chimpanzé tão parecido com um humano? O dr. Morris declarou-se cético com relação às costas e ombros, mas não fez objeções à cabeça. "Os chimpanzés têm uma postura

caracteristicamente curvada, e este tem o pescoço assombrosamente ereto de um humano. Mas se considerarmos a cabeça isoladamente, a figura é confiável." Sheila Lee, que fez a pesquisa de imagens para este livro, encontrou a fonte original dessa famosa fotografia, uma expedição ao Congo em 1909-15 organizada pelo Museu Americano de História Natural. Os animais estavam mortos quando foram fotografados, e ela informou que o fotógrafo, Herbert Lang, era também taxidermista. Seria tentador desconfiar que a postura estranhamente humana do bebê chimpanzé deve-se a um empalhamento malfeito, não fosse o fato de que, segundo o museu, Lang fotografou seus espécimes antes de os empalhar. Ainda assim, a postura de um chimpanzé morto pode ser ajustada, coisa que não se pode fazer com um chimpanzé vivo. A conclusão de Desmond Morris parece sustentar-se. A postura semelhante à humana dos ombros do bebê chimpanzé pode ser suspeita, mas a cabeça é confiável.



Chimpanzés infante e adulto fotografados por Lang

Se considerarmos verdadeira a cabeça do modo como ela é mostrada na foto, mesmo que os ombros não suportem direito o peso da autenticidade, podemos ver imediatamente como uma comparação de crânios fósseis de adultos é conducente a equívocos. Ou, em termos mais construtivos, a marcante diferença entre as cabeças adulta e juvenil mostra que é fácil uma característica como a protrusão do focinho poder mudar exatamente na direção certa para se tornar mais — ou menos — humana. A embriologia do chimpanzé "sabe" como fazer mna cabeça semelhante à humana, já que faz isso para todo chimpanzé quando ele passa por sua fase de infante. Parece muito plausível que, à medida que o Australopithecus evoluiu através de vários intermediários até o Homo sapiens, encurtando

seu focinho pelo caminho, esse processo tenha seguido a óbvia rota de conservar características juvenis até a idade adulta (o processo chamado neotenia, mencionado no capítulo 2). Seja como for, boa parte da mudança evolucionária consiste em mudanças na razão à qual certas partes crescem em relação a outras partes. Chamamos esse crescimento de heterocrônico ("em ritmos desiguais"). Acho que estou querendo dizer que a mudança evolucionária é fácil assim que aceitamos os fatos observados da mudança embriológica. Os embriões formam-se por crescimento diferencial — pedaços diferentes crescem a taxas diferentes. O crânio de um bebê chimpanzé transforma-se no crânio adulto através do crescimento relativamente rápido dos ossos dos maxilares e do focinho em relação a outros ossos cranianos. Repetindo: cada animal de cada espécie muda, durante seu desenvolvimento embriológico, muito mais drasticamente do que a forma adulta típica muda de geração a geração no decorrer das eras geológicas. E esta é a minha deixa para um capítulo sobre a embriologia e sua importância para a evolução.

8. Você fez isso em nove meses

O irascível gênio J. B. S. Haldane, que fez tanta coisa além de ser um dos três principais arquitetos do neodarwinismo, numa ocasião foi interpelado por uma senhora depois de uma conferência pública. Esta é uma história transmitida oralmente, e é uma pena que John Maynard Smith não esteja

mais entre nós para confirmar as palavras exatas, mas o diálogo foi aproximadamente assim:

Descrente da evolução: Professor Haldane, mesmo levando em conta os bilhões de anos que o senhor diz terem estado disponíveis para a evolução, não posso acreditar que seja possível passar de uma única célula a um complexo corpo humano, com seus trilhões de células organizadas em ossos, músculos, nervos, um coração que bate sem parar por décadas, milhas e milhas de vasos sanguíneos e túbulos renais, e um cérebro capaz de pensar, falar e sentir.

JBS: Mas, minha senhora, a senhora mesma fez isso. E só levou nove meses.

A interpelante talvez tenha ficado momentaneamente atordoada com a resposta inusitada e surpreendente de Haldane. Dizer que ela murchou seria pouco. Mas talvez em um aspecto a réplica de Haldane a tenha deixado insatisfeita. Não sei se ela fez mais alguma pergunta, mas se tivesse feito, poderia ser algo nesta linha:

Descrente da evolução: Ah, sim, mas o desenvolvimento do embrião segue instruções genéticas. São as instruções sobre como construir um corpo complexo que o senhor, professor Haldane, afirma terem evoluído por seleção natural. E ainda acho difícil acreditar nisso, mesmo considerando 1 bilhão de anos para essa evolução.

Talvez ela tivesse certa razão. E mesmo se uma inteligência divina realmente se revelasse responsável, em última análise, por projetar a complexidade ila vida, inquestionavelmente não é verdade que ela molda os corpos vivos de um modo parecido com o trabalho dos escultores, por exemplo, ou os carpinteiros, oleiros, alfaiates ou fabricantes de carro. Podemos ser "maravilhosamente desenvolvidos", mas não somos "maravilhosamente feitos". Quando as crianças cantam "Ele fez suas cores vivas/Ele fez suas asinhas", estão entoando Uma falsidade puerilmente óbvia. Seja lá o que for que Deus faça, ele certamente não faz cores vivas nem asinhas. Se ele fizesse alguma coisa, seria supervisionar o desenvolvimento embriônico dos seres, por exemplo, juntando sequências de genes que dirigem um processo de desenvolvimento automatizado. Asas não são feitas; elas crescem — progressivamente — começando como brotos de membros dentro de um ovo.

Deus, repetindo essa idéia importante que deveria ser óbvia mas não é, nunca fez uma asinha sequer em sua eterna vida. Se fez alguma coisa (não fez, na minha opinião, mas deixarei por isso mesmo, pois não pretendo discutir isso agora), o que ele fez foi uma receita embriológica, ou algo parecido com um programa de computador para controlar o desenvolvimento embriônico de uma asinha (e de uma porção de outras coisas também). Evidentemente, Deus poderia argumentar que, tanto quanto fazer uma asa, é uma façanha

igualmente inteligente e impressionante elaborar uma receita ou um programa para uma asa. Mas por ora quero apenas discorrer sobre a distinção entre fazer alguma coisa, como uma asa, e o que de fato ocorre na embriologia.

SEM COREÓGRAFO

A história inicial da embriologia rachou-se em duas doutrinas opostas chamadas preformacionismo e epigênese. A distinção entre elas nem sempre é claramente compreendida, por isso dedicarei algum tempo a explicar esses dois termos. Os preformacionistas acreditavam que o óvulo (ou o espermatozóide, pois os preformacionistas subdividiam-se em "ovistas" e "espermistas") continha um bebê em miniatura, ou "homúnculo". Todas as partes do bebê estavam intricadamente em seu lugar, dispostas de modo correto em relação umas às outras, apenas esperando ser infladas como um balão compartimentado. Isso encerra óbvios problemas. Primeiro, ao menos em sua forma ingênua inicial, essa concepção requer o que todo mundo sabe ser falso: que herdemos apenas de um genitor — a mãe, para os ovistas, o pai, para os espermistas. Segundo, os preformacionistas dessa escola tinham de confrontar uma regressão infinita, como a das bonecas russas, de homúnculo dentro de homúnculo — ou, se não infinita, ao menos longa o suficiente para nos levar de volta a Eva (Adão para os espermistas). A única saída dessa regressão seria construir o homúnculo de novo a cada

geração através de um elaborado escaneamento do corpo adulto da geração precedente. Essa "herança de características adquiridas" não ocorre — do contrário, os meninos judeus nasceriam sem prepúcio, e os fisiculturistas (mas não seus irmãos gêmeos sedentários) conceberiam bebês com abdome de tanquinho, peitorais e glúteos polpudos.

Para ser justo com os preformacionistas, devo admitir que eles enfrentaram, com a cara e a coragem, a necessidade lógica da regressão, por mais absurda que parecesse. Ao menos alguns deles realmente acreditavam que a primeira mulher (ou homem) continha embriões miniaturizados de todos os seus descendentes, aninhados uns dentro do outro como bonecas russas. E em certo sentido eles tinham de acreditar nisso — um sentido que vale a pena mencionar porque prefigura a essência deste capítulo. Se alguém acredita que Adão foi "feito" em vez de ter nascido, nessa idéia está implícito que Adão não tinha genes — ou pelo menos que não precisou deles para se desenvolver. Adão não teve embriologia, apenas surgiu no mundo. Uma inferência afim levou o escritor vitoriano Philip Gosse (o pai no ensaio biográfico Father and son, de Edmund Gosse) a escrever um livro chamado Omphalos ("umbigo", em grego), argumentando que Adão deve ter tido umbigo, apesar de não ter nascido. Uma consequência mais refinada do raciocínio onfalógico seria que as estrelas cuja distância em relação a nós for maior do que alguns milhares de anos-luz têm de ter sido criadas com

raios de luz prontos que se estendem quase por todo o caminho até nós — do contrário não seríamos capazes de vê-las antes de um futuro distante! Ridicularizar a onfalogia parece frivolidade, mas existe aqui um aspecto sério da embriologia que é assunto deste capítulo. É um tema muito difícil de entender. Eu mesmo, aliás, estou ainda no processo de compreendê-la, e procuro abordá-la de várias direções.

Pelas razões expostas, o preformacionismo, ao menos em sua versão original, a da "boneca russa", não podia mesmo decolar. Existe alguma versão do preformacionismo que poderia ser revivida com sensatez na era do DNA? Talvez haja, mas eu duvido. Livros didáticos de biologia repetem vezes sem conta que o DNA é um "gabarito" para construir um corpo. Não é. Um gabarito real para se construir, digamos, um carro ou uma casa incorpora um mapeamento unívoco do papel ao produto acabado. Disso decorre que um gabarito é reversível. É tão fácil ir da casa ao gabarito quanto vice-versa, precisamente porque o mapeamento é unívoco. Na verdade, é mais fácil, pois é preciso construir a casa, mas basta fazer algumas mensurações e então desenhar o gabarito. Se pegarmos o corpo de um animal, por mais detalhadamente que o meçamos, não conseguiremos reconstituir seu DNA. Eis porque é falso dizer que o DNA é um gabarito.

É teoricamente possível imaginar (talvez seja assim que as coisas funcionem em algum outro planeta) que o DNA poderia ser uma descrição codificada de um corpo: uma espécie de mapa

tridimensional representado no código linear de "letras" do DNA. Isso realmente seria reversível. Escanear o corpo para fazer um gabarito genético não é uma idéia totalmente ridícula. Se o DNA funcionasse dessa maneira, poderíamos representá-lo como uma espécie de neo-preformacionismo. Não evocaríamos o espectro das bonecas russas. Não está claro para mim se isso evocaria ou não o espectro da herança de apenas um genitor. O DNA tem um modo impressionantemente preciso de ensamblar metade das informações paternas com exatamente a metade das informações maternas, mas como ele faria para ensamblar metade da varredura do corpo da mãe com metade da varredura do corpo do pai? Deixemos para lá: tudo isso está muito longe da realidade.

O DNA, portanto, não é, de modo algum, um gabarito. Ao contrário de Adão, que foi moldado diretamente em sua forma adulta, todos os corpos reais desenvolvem-se e crescem de uma única célula através de estágios intermediários: embrião, feto, bebê, criança e adolescente. Talvez em algum mundo alienígena criaturas vivas montem a si mesmas da cabeça aos pés como um conjunto organizado de biopixels tridimensionais lidos em uma linha escaneada codificada. Mas em nosso planeta não é assim que as coisas funcionam, e acho que há três razões — das quais tratei em outro texto, portanto não desenvolverei aqui — por que nunca poderia ser assim em planeta algum.

A alternativa histórica ao preformacionismo é a epigênese. Se o preformacionismo baseia-se em

gabaritos, a epigênese baseia-se em algo mais parecido com uma receita ou um programa de computador. A definição do Shorter Oxford English dictionary é bem moderna, e talvez Aristóteles, que cunhou o termo, não a reconhecesse:

epigênese: teoria do desenvolvimento de um organismo pela diferenciação progressiva de um todo inicialmente indiferenciado.

O livro Principles of development, de Lewis Wolpert e colegas, define epigênese como a idéia de que novas estruturas surgem progressivamente. Há um sentido no qual a epigênese é uma verdade manifesta, mas detalhes são importantes, e não levá-los em consideração traz problemas na certa. Como o organismo se desenvolve progressivamente? Como um todo inicialmente indiferenciado "sabe" de que modo deve diferenciar-se progressivamente, se não for seguindo um gabarito? A distinção que desejo fazer neste capítulo, que em grande medida corresponde à distinção entre preformacionismo e epigênese, é entre arquitetura planejada e automontagem. O significado de arquitetura planejada é claro para nós, pois a vemos à nossa volta em nossos prédios e outros artefatos. A automontagem é menos familiar e precisará de maior atenção da minha parte. No campo do desenvolvimento, a automontagem ocupa uma posição análoga à seleção natural na evolução, embora inquestionavelmente não se trate do mesmo processo. Ambas alcançam, por meios

automáticos, não deliberados, não planejados, resultados que parecem, a um exame superficial, ter sido meticulosamente planejados.

J. B. S. Haldane disse a pura verdade à sua cética interpelante, mas ele não negaria que existe mistério, beirando o milagroso (porém nunca chegando de fato lá) no próprio fato de que uma única célula origina um corpo humano em toda a sua complexidade. E o mistério é apenas um pouco mitigado pelo fato de a proeza realizar-se com a ajuda de instruções do DNA. A razão de o mistério permanecer é que achamos difícil imaginar, mesmo em princípio, como poderíamos escrever as instruções para construir um corpo do modo como o corpo é efetivamente construído, ou seja, pelo que acabei de chamar de "automontagem", que lembra o que os programadores de computador às vezes chamam de procedimento "de baixo para cima" em contraste com o procedimento "de cima para baixo".

Um arquiteto projeta uma catedral. Em seguida, através de uma cadeia de comando hierárquica, a operação da construção é dividida por departamentos distintos, que por sua vez a dividem em subdepartamentos e assim por diante até que, por fim, as instruções são entregues a pedreiros, carpinteiros e vidraceiros, os quais individualmente se põem a trabalhar até que a catedral esteja construída e bem parecida com o desenho original do arquiteto. Isso é um projeto de cima para baixo.

O projeto de baixo para cima funciona de modo

totalmente diferente. Havia um mito, no qual nunca acreditei, de que algumas das mais belas catedrais medievais da Europa foram construídas sem o trabalho de arquitetos. Ninguém as projetou. Cada pedreiro, cada carpinteiro ocupava-se, com seus conhecimentos especializados, de um pedacinho do edifício, prestando pouca atenção no que os outros estavam fazendo e atenção nenhuma ao plano geral. Não se sabe como, a catedral emergia dessa anarquia. Se isso realmente acontecesse, seria arquitetura de baixo para cima. Não obstante o mito, com certeza não aconteceu desse modo com as catedrais. Mas em grande medida é o que acontece na construção de um cupinzeiro ou de um formigueiro — e no desenvolvimento de um embrião. Isso é o que torna a embriologia tão notavelmente diferente de qualquer coisa com que os humanos estejam familiarizados no campo da construção ou manufatura.

O mesmo princípio funciona para certos tipos de programa de computador, para certos tipos de comportamento animal e — juntando os dois — para programas de computador criados com o objetivo de simular comportamento animal. Suponhamos que queremos entender o comportamento de bando dos estorninhos. No YouTube encontramos alguns filmes impressionantes, dos quais foram extraídas as fotos da página em cores 16. O balé das manobras foi fotografado por Dylan Winter em Otmoor, próximo a Oxford. O notável no comportamento dos estorninhos é que, a despeito das aparências,

não há coreógrafo e, pelo que sabemos, nem líder. Cada ave simplesmente segue regras locais.
O número de aves nesses bandos pode chegar a milhares, e no entanto elas quase nunca colidem. Ainda bem, pois à velocidade em que voam qualquer impacto as machucaria gravemente. Muitas vezes o bando inteiro parece comportar-se como um único indivíduo, fazendo voltas e dando guinadas em conjunto. Pode-se ter a impressão de que há bandos separados voando em direções opostas e atravessando uns aos outros, mas mantendo intacta sua coerência como bandos distintos. Parece quase milagroso, mas na realidade os bandos encontram-se a distâncias diferentes em relação à câmera e não passam em meio uns aos outros. O prazer estético é intensificado pelo fato de as extremidades dos bandos serem nitidamente definidas. Em vez de esvaecerem gradualmente, elas têm fronteiras abruptas. A densidade das aves próximo à fronteira do bando não é menor do que bem no meio, enquanto fora da fronteira ela é zero. Refletindo desse modo não é surpreendente, impressionante?
O balé completo daria um protetor de telas elegantíssimo para seu computador. Você não iria querer um filme real de estorninhos, pois ele repetiria os mesmos movimentos coreográficos vezes sem conta e, assim, não exercitaria os pixels igualmente. O desejável para o protetor de telas seria uma simulação por computador dos bandos de estorninhos e, como qualquer programador lhe dirá, há um modo certo e um modo errado de

fazer isso. Não tente coreografar o balé inteiro — seria um péssimo estilo de programação para esse tipo de tarefa. Preciso discorrer sobre o melhor modo de fazê-lo porque algo parecido quase certamente constitui o modo como as próprias aves são programadas no cérebro delas. Mais a propósito, essa é uma esplêndida analogia para o modo como a embriologia funciona.

Eis como programar o comportamento de bando dos estorninhos. Dedique quase todo o seu esforço a programar o comportamento de uma única ave individualmente. Incorpore ao seu estorninho-robô regras detalhadas para o modo de voar e de reagir à presença de estorninhos na vizinhança, dependendo da distância e posição relativa deles. Incorpore regras determinando o peso a ser dado ao comportamento de vizinhos e o peso a ser dado à iniciativa individual na mudança de direção Essas regras-modelo seriam baseadas em cuidadosas medições de aves reais em ação. Dote a sua ciberave de certa tendência a variar suas regras aleatoriamente. Depois de escrever um complexo programa para especificar as regras comportamentais de um único estorninho, é hora do passo definitivo que estou salientando neste capítulo. Não tente programar o comportamento de um bando inteiro, como teria feito uma geração mais antiga de programadores de computador. Em vez disso, faça uma clonagem do estorninho que você programou individualmente. Faça mil cópias da sua ave-robô, talvez todas idênticas entre si, ou talvez com alguma ligeira variação aleatória nas regras de cada uma. E agora "solte" milhares de

estorninhos-modelo em seu computador para que eles interajam livremente, todos obedecendo às mesmas regras.
Se você determinar as regras de comportamento certas para um único estorninho, mil estorninhos computadorizados, cada um representado por um ponto na tela, se comportarão como estorninhos reais voando em bando no inverno. Se o comportamento de bando não estiver certo, você pode voltar à sua programação e ajustar o comportamento do estorninho individual, talvez à luz de medições adicionais do comportamento dos estorninhos reais. Agora faça a clonagem da nova versão mil vezes e ponha-a no lugar da que não funcionou. Vá reprogramando seu estorninho individual clonado até que o comportamento de bando dos milhares de estorninhos na tela seja um protetor de telas satisfatoriamente realista. Craig Reynolds criou um programa nessas linhas (não especificamente para estorninhos) em 1986 e o batizou de "Boids" ["bird-like objects", objetos semelhantes a pássaros].
O principal aspecto nesta nossa argumentação é que não existe coreógrafo nem líder. Ordem, organização, estrutura, tudo isso emerge como subproduto das regras que são obedecidas em âmbito local e múltiplas vezes, e não globalmente. E é assim que a embriologia funciona. Tudo é feito por regras locais, em vários níveis, mas especialmente no nível de cada célula. Sem coreógrafo. Sem regente de orquestra. Sem planejamento central. Sem arquiteto. Na área de construção ou manufatura, o equivalente desse

tipo de programação é a automontagem.
No corpo de uma pessoa, assim como no de uma águia, toupeira, golfinho, guepardo, rã-leopardo, andorinha, todas as partes são tão primorosamente reunidas que parece inacreditável que os genes que programam seu desenvolvimento não funcionam como um gabarito, um projeto, um plano-mestre. Mas na verdade, como no caso dos estorninhos de computador, tudo é feito por células individuais que obedecem a regras locais. O corpo maravilhosamente "projetado" emerge em consequência de regras que são obedecidas localmente por células individuais, sem nenhuma referência a algo que possa ser chamado de plano global. As células de um embrião em desenvolvimento dançam e volteiam em torno umas das outras como estorninhos em bandos gigantescos. Há diferenças, e elas são importantes. Ao contrário dos estorninhos, as células são ligadas fisicamente umas às outras em lâminas e blocos: seus "bandos" chamam-se "tecidos". Quando elas volteiam e dançam como estorninhos em miniatura, a consequência é a formação de feitios tridimensionais, com uma invaginação de tecidos em resposta aos movimentos das células, ou com aumentos e diminuições devidos a padrões locais de crescimento e morte celular. Minha analogia preferida para isso é a arte do origami, sugerida pelo eminente embriologista Lewis Wolpert em seu livro The triumph of the embryo; mas antes de abordar essa questão preciso tirar do caminho

algumas analogias que podem nos ocorrer — analogias com ofícios humanos e processos manufatureiros.

ANALOGIAS DE DESENVOLVIMENTO

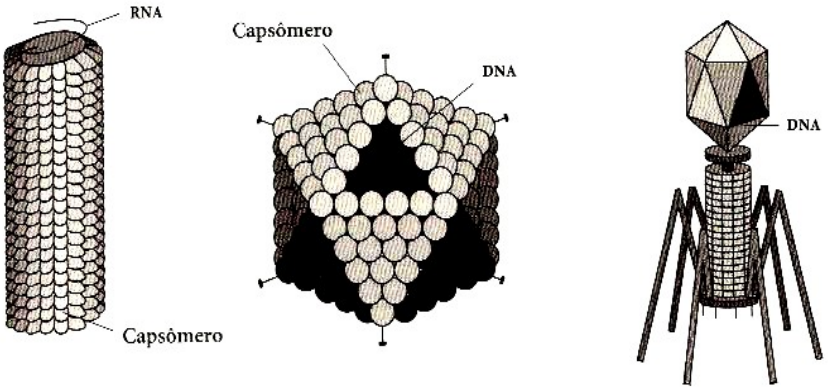
É surpreendentemente difícil encontrar uma boa analogia para o desenvolvimento de tecidos vivos, mas podemos encontrar semelhanças parciais com aspectos específicos do processo. Uma receita capta parte da verdade, e é a analogia que uso às vezes para explicar por que "gabarito" não é apropriado. Ao contrário de um gabarito, uma receita não é reversível. Se você seguir uma receita de bolo passo a passo, obterá um bolo. Mas não é possível pegar um bolo e reconstituir a receita — certamente não as palavras exatas da receita —, ao passo que, como vimos, é possível pegar uma casa e reconstituir algo parecido com o gabarito original. Isso graças ao mapeamento unívoco que existe entre os pedaços da casa e os pedaços do gabarito. Com visíveis exceções, como a cereja no topo, não existe um mapeamento unívoco entre os pedaços do bolo e, por exemplo, as palavras ou frases da receita.
Que outras analogias com a manufatura humana poderia haver? A escultura quase nunca se aplica. Um escultor começa com um pedaço de pedra ou madeira e o molda por subtração, retirando lascas até que reste apenas a forma desejada. Existe, deve-se admitir, uma semelhança um tanto nítida com um processo específico da embriologia chamado apoptose. A apoptose é uma morte

programada de células, e participa, por exemplo, do desenvolvimento dos dedos das mãos e dos pés. No embrião humano, os dedos são unidos. No útero, você e eu tivemos mãos e dos pés palmados. As membranas interdigitais desapareceram (na maioria das pessoas, mas há ocasionais exceções) graças à morte programada de células. Isso lembra um pouco o modo como um escultor obtém uma forma pela retirada de material, mas não é comum nem importante o suficiente para ilustrar como a embriologia normalmente funciona. Os embriologistas podem pensar de relance no "cinzel do escultor", mas não permitem que essa ideia persista por muito tempo. Alguns escultores trabalham não subtraindo com o cinzel, e sim amassando um pedaço de argila ou cera mole até dar-lhe forma (que pode então servir de molde para uma escultura de bronze, por exemplo). Essa também não é uma boa analogia para a embriologia. A confecção de roupas também não. O tecido preexistente é cortado em formas estabelecidas por um molde feito de antemão, e depois as formas são costuradas umas às outras. Em geral isso é feito do avesso para disfarçar as costuras — e esse aspecto, pelo menos, é uma boa analogia para certas partes da embriologia. Em geral, contudo, a embriologia não se parece mais com a arte de coser roupas do que com a de esculpir. Tricotar poderia aplicar-se melhor, no sentido de que a forma total de um suéter, por exemplo, é construída com inúmeros pontos individuais, como células individuais. Mas existem analogias melhores, como veremos.

Que tal a montagem de um carro, ou de outra máquina complexa, na linha de montagem de uma fábrica? Seria uma boa analogia? Como a escultura e a costura, a montagem de partes pré-fabricadas é um modo eficiente de produzir alguma coisa. Na fábrica de veículos, as partes são pré-fabricadas, em geral a partir de moldes em uma fundição (e creio que não há nada remotamente parecido com moldes para fundição na embriologia). Em seguida, as partes pré-fabricadas são reunidas numa linha de montagem e parafusadas, rebitadas, soldadas ou coladas umas às outras, passo a passo, segundo um projeto desenhado com precisão. Novamente, a embriologia não tem nada que lembre um projeto previamente elaborado. Mas há semelhanças com a junção ordenada de partes pré-montadas, como quando, numa fábrica de carros, carburadores previamente produzidos, cabeçotes de distribuidor, correias de ventilador e cabeçotes de cilindro são reunidos e ligados em correta aposição.

Vemos abaixo três tipos de vírus. À esquerda temos o vírus do mosaico do tabaco (VMT), parasita dos pés de tabaco e de outros membros da família Solanaceae, como o tomate. No meio está o adenovírus, que infecta o sistema respiratório de muitos animais, inclusive o nosso. À direita vemos o bacteriófago T4, parasita de bactérias. Ele parece um módulo lunar e se comporta de modo bem parecido: "pousa" na superfície de uma bactéria (a qual é bem maior do que ele), depois abaixa-se em suas "pernas" aracnóides, introduz uma sonda pela parte central

inferior através da parede celular da bactéria e injeta lá dentro o seu DNA. O DNA viral então sequestra o maquinário produtor de proteína da bactéria e o subverte para fabricar novos vírus. Os dois outros vírus na figura fazem coisa semelhante, embora sua aparência e comportamento não lembrem um módulo lunar. Em todos os casos, seu material genético sequestra o mecanismo produtor de proteína da célula hospedeira e desvia sua linha de produção molecular para a tarefa de fabricar vírus em vez de seus produtos normais.



Três tipos de vírus

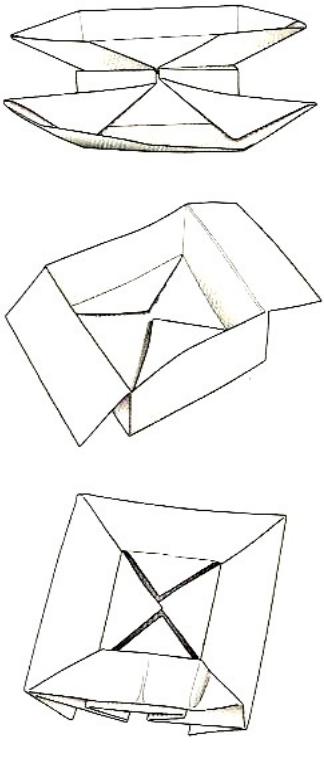
Grande parte do que você vê nas figuras é o invólucro de proteína para o material genético, e no caso do T4 (o "módulo lunar"), o maquinário para infectar a hospedeira. O interessante é o modo como essa aparelhagem proteica é montada: ela monta a si mesma. Cada vírus é montado a partir de várias moléculas de proteína previamente produzidas. Cada molécula de proteína, de um modo que veremos adiante,

montou-se previamente em uma característica "estrutura terciária" segundo as leis da química, dada a sua sequência específica de aminoácidos. E depois, no vírus, as moléculas de proteína reúnem-se formando o que se denomina "estrutura quaternária", novamente seguindo regras locais. Não existe um plano global, nem um gabarito.

As subunidades proteicas, que se ligam como peças de Lego para formar a estrutura quaternária, são chamadas de capsômeros. Note como essas pequeninas construções são geometricamente perfeitas. O adenovírus no centro tem exatamente 252 capsômeros, aqui desenhados como bolinhas, dispostas em forma de icosaedro. O icosaedro é o sólido platônico perfeito que tem vinte lados triangulares. Os capsômeros dispõem-se em forma de icosaedro não com base em algum tipo de plano-mestre ou gabarito, mas simplesmente porque cada um deles obedece às leis da atração química localmente quando topa com outros iguais a si mesmo. É desse modo que os cristais se formam, e, aliás, o adenovírus poderia ser descrito como um minúsculo cristal oco. A "cristalização" de um vírus é um exemplo especialmente primoroso da "automontagem" que estou expondo como um princípio essencial da formação dos seres vivos. O fago T4 "módulo lunar" também tem seu principal receptáculo de DNA em forma de icosaedro, mas sua estrutura quaternária automontada é mais complexa, incorporando unidades proteicas adicionais, montadas segundo diferentes regras locais no mecanismo injetor e nas "pernas" que se ligam ao

icosaedro.
Voltemos dos vírus para a embriologia de seres maiores e falemos de minha analogia favorita dentre as técnicas humanas de construção, o origami. Essa é a arte de construir com dobraduras de papel, desenvolvida a seu nível mais avançado no Japão. A única peça de origami que sei fazer é o "junco chinês". Meu pai me ensinou, e ele próprio aprendeu durante uma febre de junco chinês em seu internato nos anos 1920. Uma característica biologicamente realista é que a "embriologia" do junco chinês passa por vários estágios "larvais" intermediários que são, eles próprios, atraentes criações, da mesma forma que uma lagarta é um belo e eficaz intermediário na trajetória para uma borboleta, embora pouquíssimo assemelhado a ela. Começamos com um simples pedaço quadrado de papel e vamos dobrando — sem jamais cortar, colar ou incorporar outros pedaços — e o procedimento nos conduz através de três reconhecíveis estágios "larvais": um "catamarã", um "armário de duas portas" e uma "foto emoldurada" antes de culminar no junco chinês "adulto". Diga-se em favor da analogia do origami que, quando vemos pela primeira vez como se faz um junco chinês, não só o junco mas cada um dos estágios "larvais" —jangada, armário e foto emoldurada —, nos surpreendem quando aparecem. Nossas mãos executam a dobradura, mas não estamos de modo algum seguindo um gabarito para um junco chinês, nem para os estágios larvais. Estamos seguindo um conjunto de regras de dobradura que parecem não ter ligação

com o produto final até que ele finalmente emerge, como uma borboleta do Casulo. Assim, a analogia do origami capta parte da importância das "regras locais" em contraste com um plano global.



Junco chinês em origami, com três estágios "larvais": "catamarã", "caixa com duas tampas" e "foto emoldurada"

Também em favor da analogia do origami, dobrar, invaginar e virar do avesso são alguns dos truques favoritos usados por tecidos embriônicos para fazer um corpo. A analogia funciona especialmente bem para os primeiros estágios do embrião. Mas ela tem pontos fracos; vejamos dois que são óbvios. Primeiro, é preciso mãos humanas para realizar a dobradura. Segundo, o "embrião" de

papel não fica maior quando se desenvolve. Ele termina pesando exatamente tanto quanto no início. A fim de reconhecer essa diferença, às vezes me referirei à embriologia biológica como "origami inflado" em vez de apenas "origami".

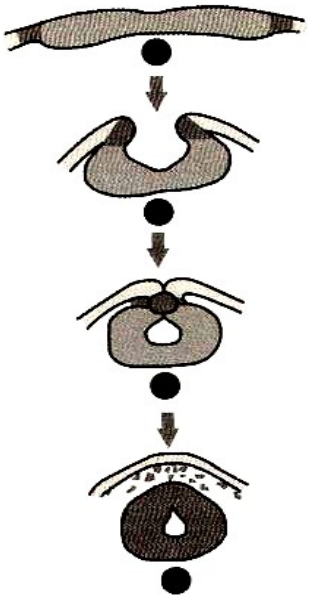
Na verdade, esses dois pontos fracos cancelam um ao outro. As lâminas de tecido que reentram, invaginam e se viram do avesso em um embrião quando ele se desenvolve crescem de fato, e é esse crescimento que fornece parte da força propulsora que, no origami, vem das mãos humanas. Se quiséssemos fazer um modelo em origami com uma lâmina de tecido vivo em vez de papel morto, haveria pelo menos alguma chance de que, se a lâmina crescesse do modo certo, não uniformemente, porém mais depressa em algumas partes da lâmina do que em outras, isso pudesse automaticamente fazer a folha assumir determinada forma — e até reentrar, invaginar ou virar-se do avesso de um certo modo — sem que fosse preciso mãos para puxar e dobrar e sem a necessidade de um plano global, seguindo apenas regras locais. E, na realidade, há mais do que apenas alguma chance, pois isso realmente acontece. Chamemos o processo de "auto-origami". Como é que o auto-origami funciona na prática, na embriologia? Ele funciona porque, no embrião real, o que acontece quando uma lâmina de tecido cresce é que suas células dividem-se. E o crescimento diferencial das diversas partes da lâmina de tecido é realizado pelas células, em cada parte da lâmina, que se dividem a uma razão determinada por regras locais. Assim, por uma

tortuosa rota, voltamos à importância fundamental das regras locais de baixo para cima em oposição às regras globais de cima para baixo. Toda uma série de versões (muito mais complexas) desse princípio simples participa dos primeiros estágios do desenvolvimento embriônico.

Vejamos o que se passa com o origami nos primeiros estágios do desenvolvimento dos vertebrados. A célula-ovo fecundada divide-se, originando duas células. Essas duas dividem-se e passam a ser quatro. Assim prossegue o processo, com o número de células rapidamente dobrando e redobrando. Nesse estágio não existe crescimento, não existe inflação. O volume original do óvulo fecundado é dividido, como quando fatiamos um bolo, e temos então um aglomerado esférico de células do mesmo tamanho do óvulo original. Não é uma bola sólida, e sim oca, e a chamamos de blástula. O próximo estágio, a gastrulação, inspirou o famoso bon mot de Lewis Wolpert: "Não é o nascimento, o casamento ou a morte, e sim a gastrulação o verdadeiro momento mais importante da nossa vida".

A gastrulação é uma espécie de terremoto microcósmico que sacode a superfície da blástula e revoluciona toda a sua forma. Os tecidos do embrião passam por uma tremenda reorganização. A gastrulação tipicamente envolve o surgimento de uma reentrância na bola oca que é a blástula, a qual passa a ter duas camadas com uma abertura para o mundo exterior (veja a simulação por computador na p. 218). A camada exterior dessa "gástrula" é chamada de ectoderma, a camada

interior é o endoderma, e há também algumas células situadas no espaço entre o ectoderma e o endoderma, denominadas mesoderma. Cada uma dessas três camadas primordiais está destinada a compor partes principais do corpo. Por exemplo, a pele e o sistema nervoso provêm do ectoderma, os intestinos e outros órgãos internos, do endoderma, e o mesoderma origina músculos e ossos.



Neurulação

O próximo estágio do origami embrionário é a chamada neurulação. O diagrama à esquerda mostra uma seção transversal na parte posterior central de um embrião de anfíbio durante a neurulação (poderia ser uma rã ou uma salamandra). O círculo preto é a "notocorda", um bastão que está se enrijecendo e atua como o precursor da coluna vertebral. A notocorda é

característica do filo Chordata, ao qual pertencem todos os vertebrados (embora nós, assim como a maioria dos vertebrados modernos, só a tenhamos durante a fase embrionária). Na neurulação, como na gastrulação, a invaginação é muito evidente. Você decerto se lembra de que eu disse que o sistema nervoso provém do ectoderma. Pois vejamos como isso ocorre. Uma seção do ectoderna invagina-se (progressivamente para trás ao longo do corpo, como um zíper), forma um tubo, os lados do "zíper" juntam-se e, por fim, toda essa estrutura percorre longitudinalmente o corpo entre a camada mais externa e a notocorda. Esse tubo está destinado a tornar-se a medula espinhal, o principal tronco nervoso do corpo. A extremidade frontal infla e se transforma no cérebro. E todo o resto dos nervos, por subsequentes divisões celulares, deriva desse tubo primordial.

Não quero entrar nos detalhes da gastrulação e da neurulação, exceto para dizer que elas são impressionantes e que a metáfora do origami aplica-se razoavelmente bem a ambas. Estou interessado nos princípios gerais pelos quais os embriões tornam-se mais complexos com a inflação do origami. Na página seguinte vemos uma das coisas que as lâminas de células fazem no decorrer do desenvolvimento embriônico, por exemplo durante a gastrulação. É fácil ver que essa invaginação poderia ser uma manobra útil para inflar o origami e, de fato, ela desempenha um papel fundamental tanto na gastrulação como na neurulação.

A gastrulação e a neurulação ocorrem bem no

início do desenvolvimento e afetam toda a forma do embrião. A invaginação e outras manobras de "inflar origami" dirigem esses estágios iniciais da embriologia e, com outros truques semelhantes, participam do desenvolvimento posterior, quando se formam órgãos especializados como olhos e coração. Mas como não há mãos para fazer a dobradura, qual é o processo mecânico que promove esses movimentos dinâmicos? Em parte, como já mencionei, é a simples expansão. Células multiplicam-se em toda uma lâmina de tecido. Portanto, a área da lâmina aumenta e, não tendo mais aonde ir, fica com pouca escolha além de dobrar-se ou invaginar-se. No entanto, o processo é mais controlado do que isso, e foi decifrado por um grupo de cientistas associados ao brilhante biólogo-matemático George Oster, da Universidade da Califórnia em Berkeley.

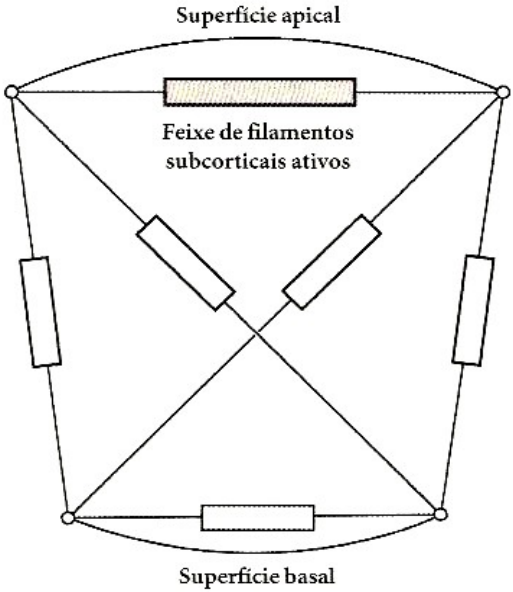
Invaginação de uma lâmina de células

CÉLULAS PROGRAMADAS COMO ESTORNINHOS

Oster e seus colegas seguiram a mesma estratégia explicada neste capítulo quando tratamos da

simulação computadorizada do movimento dos estorninhos em bando. Em vez de programar o comportamento de uma blástula inteira, eles programaram uma única célula. Em seguida, "clonaram" numerosas células, todas iguais, e observaram o que acontecia quando elas se juntavam no computador. Eu disse que eles programaram o comportamento de uma única célula, mas seria melhor dizer que programaram um modelo matemático de uma única célula, incorporando ao modelo certos fatos conhecidos da célula isolada, porém de uma forma simplificada. Especificamente, sabe-se que o interior das células é entrecruzado com microfilamentos: como se fossem minúsculas fitas elásticas, mas com a propriedade adicional de poder contrair-se ativamente, como fibras musculares. De fato, os microlilamenlos usam o mesmo princípio da contração encontrado nas fibras musculares. O modelo de Oster simplificou a célula, representando-a em duas dimensões para desenhá-la na tela do computador, e dotou-a de meia dúzia de filamentos estrategicamente situados, como se pode ver no diagrama a seguir. No modelo computadorizado, todos os microfilamentos foram dotados de certas propriedades quantitativas com nomes que significam alguma coisa para os físicos: um "coeficiente de amortecimento viscoso" e uma "constante elástica da mola". Não se preocupe com o que exatamente isso significa: são tipos de coisas que os físicos gostam de medir em uma mola. Embora seja provável que numa célula real

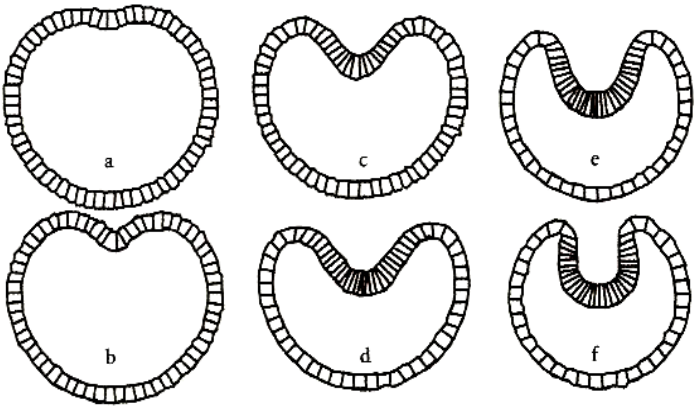
muitos filamentos sejam capazes de contração, Oster e seus colegas simplificaram dotando com essa capacidade apenas um dos seis filamentos. Se conseguissem obter resultados realistas mesmo depois de deixar de lado algumas das propriedades conhecidas de uma célula, presumivelmente seria possível conseguir resultados no mínimo tão bons com um modelo mais complexo que mantivesse essas propriedades. Em vez de permitir que um filamento contrátil em seu modelo se contraísse aleatoriamente, incorporaram nele uma propriedade que é comum em certos tipos de fibra muscular: quando esticadas além de certo comprimento crítico, a fibra responde contraindo-se para um comprimento muito menor do que o comprimento normal de equilíbrio.



Microfilamentos no interior da célula-modelo de Oster

Temos assim nosso modelo de uma única célula: um modelo muito simplificado que consiste em um contorno bidimensional no qual se entrecruzam seis molas elásticas, uma das quais apresenta a propriedade especial de responder a um estiramento imposto externamente com uma contração ativa. Esse é o primeiro estágio do processo de criação do modelo. No segundo estágio, Oster e seus colegas clonaram algumas dezenas de suas células-modelo e as dispuseram em círculo, como uma blástula (bidimensional). Depois pegaram uma célula e deram um puxão em seu filamento contrátil para fazê-la contrair-se. O que aconteceu em seguida foi incrivelmente fascinante: ocorreu uma gastrulação na blástula-modelo! Eis meia dúzia de fotos da tela mostrando

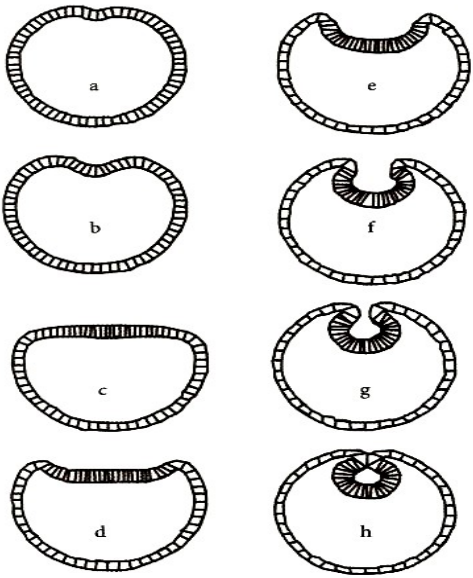
o que aconteceu (de *a* a *f,* abaixo). Uma onda de contrações propagou-se lateralmente da célula que fora provocada, e a bola de células invaginou-se espontaneamente.



Gastrulação da blástula-modelo de Oster

E fica ainda melhor. Oster e seus colegas experimentaram, em seu modelo computadorizado, baixar o "limiar de disparo" dos filamentos contráteis. O resultado foi uma onda de invaginações que foi além e efetivamente acabou formando um "tubo neural" (imagens de a ah, abaixo). É importante entender o que realmente é um modelo desse tipo. Ele não é uma representação exata da neurulação. Além do fato de ser bidimensional e simplificada em muitos outros aspectos, a bola de células na qual ocorreu a "neurulação" (imagem a) não era uma "gástrula" de duas camadas, como deveria ser. Ela era o mesmo ponto de partida dotado de algumas características de uma blástula que tínhamos para o modelo de gastrulação acima. Não importa: não

se espera que os modelos sejam totalmente acurados em todos os detalhes. Mas ainda assim o modelo mostra como é fácil imitar vários aspectos do comportamento das células de um embrião em fase inicial. O fato de que a "bola" de células bidimensional respondeu espontaneamente aos estímulos apesar de o modelo ser mais simples do que a situação real só acrescenta eloquência a essa evidência. Garante-nos que a evolução dos vários procedimentos do desenvolvimento embriônico inicial não precisa ser difícil demais. Note que é o modelo que é simples, e não o fenômeno que ele demonstra. Essa é a marca registrada de um bom modelo científico.



Formação do "tubo neural" no modelo de Oster

Meu propósito ao explicar os modelos de Oster foi mostrar o tipo geral de princípio pelo qual células individuais podem interagir umas com as outras de

modo a construir um corpo sem que exista um gabarito representando o corpo completo. Dobradura como no origami, invaginação e fechamento em tubo como no modelo de Oster: esses são apenas alguns dos truques mais simples para construir embriões. Outros, mais elaborados, entram em ação mais adiante no desenvolvimento embriônico. Por exemplo, experimentos engenhosos mostraram que células nervosas, quando crescem a partir da medula espinhal ou do cérebro, encontram seu caminho até o órgão de destino não seguindo algum tipo de plano geral, mas por atração química, à semelhança de um cão que fareja até encontrar uma cadela no cio. Um experimento clássico pioneiro do embriologista Roger Sperry, laureado com o prêmio Nobel, ilustra perfeitamente esse princípio. Sperry e um colega removeram um minúsculo quadrado de pele do dorso de um girino. Removeram outro quadrado, do mesmo tamanho, do ventre. Depois reenxertaram os dois quadrados, mas com os lugares trocados: a pele do ventre foi enxertada no dorso e vice-versa. Quando o girino cresceu e se transformou em rã, o resultado foi elegante, como costumam ser os experimentos em embriologia: no meio do dorso escuro e pintalgado havia um nítido selo postal de pele branca ventral, e outro nítido selo postal, só que de pele escura e pintalgada, no meio do ventre branco. E agora, o ponto principal da história. Normalmente, quando se cutuca o dorso de uma rã com uma cerda, a rã limpa o local com uma pata, como se espantasse uma mosca irritante. Mas quando Sperry cutucava

a rã do seu experimento no "selo postal" branco do dorso, a rã coçava o ventre! E quando ele cutucava o selo postal escuro no ventre da rã, ela coçava o dorso.

O que ocorre no desenvolvimento embriônico normal, segundo a interpretação de Sperry, é que axônios (longos "fios" que são, cada um, uma extensão tubular de uma célula nervosa) crescem a partir da medula espinhal, farejando tomo um cão a procura de pele do ventre. Outros axônios crescem a pai lii da medula espinhal farejando pele das costas. E normalmente isso produz o resultado certo: cutucões nas costas provocam a sensação de que acontecem nas costas, e cutucões na barriga parecem provir da barriga. Mas na rã experimental de Sperry, algumas das células nervosas que farejaram pele de ventre encontraram o selo postal de pele de ventre enxertado no dorso, presumivelmente porque ela tinha o "cheiro" certo. E vice-versa. As pessoas que acreditam em algum tipo de teoria da tábula rasa — segundo a qual quando nascemos nossa mente é como uma página em branco a ser preenchida pela experiência — devem surpreender-se com o resultado de Sperry. Elas esperariam que as rãs aprendessem pela experiência a localizar a proveniência das sensações na pele, associando as sensações certas aos lugares certos. Ao que parece, no entanto, cada célula nervosa na medula espinhal é rotulada, digamos, como célula nervosa do ventre ou célula nervosa do dorso, mesmo antes de fazer contato com a pele apropriada. Ela posteriormente

encontrará o pixel-alvo na pele para o qual foi destinada, onde quer que ele se encontre. Se uma mosca andasse ao longo de todo o dorso da rã de Sperry, esta presumivelmente teria a ilusão de que a mosca de repente pulou das costas para a barriga, andou mais um pouco e instantaneamente tornou a pular para as costas.

Experimentos como esse levaram Sperry a formular a hipótese da "quimioafinidade", segundo a qual o sistema nervoso faz suas conexões não seguindo um gabarito geral, mas conforme um processo no qual cada axônio busca órgãos de destino com os quais tenha uma afinidade química particular. Novamente, temos aqui pequenas unidades locais seguindo regras locais. As células em geral são repletas de "rótulos", etiquetas químicas que lhes permitem encontrar suas "parceiras". E podemos voltar à analogia do origami para encontrar outro lugar onde o princípio da rotulagem mostra-se útil. O origami humano de papel não usa cola, mas poderia usar. E o origami do embrião, pelo qual o corpo dos animais é montado, usa algo equivalente a uma cola. Na verdade, mais de uma cola, pois há muitas delas, e é aí que a rotulagem triunfantemente ganha relevo. As células possuem na superfície um complexo repertório de "moléculas de adesão" que lhes permitem aderir a outras células. Essa colagem celular tem papel importante no desenvolvimento embriônico em todas as partes do corpo. Mas há uma diferença significativa em relação às colas que nos são familiares. Para nós, cola é cola. Algumas são mais

fortes do que outras, e existem as que secam mais depressa, as mais apropriadas para madeira, digamos, e as que são melhor para colar melais ou plásticos. Mas a variedade entre as colas termina aí.

As moléculas de adesão celular são muito mais engenhosas. Mais exigentes, poderíamos dizer. Em contraste com nossas colas artificiais, que aderem à maioria das superfícies, as moléculas de adesão celular colam-se apenas a determinadas outras moléculas de adesão celular exatamente do tipo certo. Uma classe de moléculas de adesão nos vertebrados, as caderinas, tem oitenta tipos atualmente conhecidos. Com algumas exceções, cada uma dessas oitenta caderinas só adere a outras do mesmo tipo que o seu. Esqueçamos a cola por um minuto. Uma analogia melhor poderia ser a de uma brincadeira de criança na qual a cada participante é atribuído o papel de um animal e todas elas têm de andar pela sala emitindo ruídos iguais ao do seu respectivo bicho. Cada criança sabe que apenas uma entre as outras crianças tem o papel do mesmo animal que o seu, e deve encontrar sua par¬ceira prestando atenção à cacofonia de imitações da bicharada. As caderinas funcionam desse modo. Talvez, como eu, você só consiga imaginar vagamente como é que dosar criteriosamente superfícies celulares com caderinas específicas em pontos estratégicos poderia refinar e complicar os princípios de automontagem do origami embrionário. Ressalto, mais uma vez, que isso não implica nenhum tipo de plano geral, e sim uma coleção de regras locais

separadas.

ENZIMAS

Agora que já vimos como lâminas inteiras de células dedicam-se à arte do origami para moldar o embrião, mergulhemos no interior de uma célula, onde encontraremos o mesmo princípio da autodobradura e autoenrugamento, só que em uma escala muito menor, a escala de uma molécula de proteína. As proteínas são imensamente importantes, por razões que devo agora explicar. Começarei por uma provocativa especulação para celebrar a importância sem igual das proteínas. Adoro ficar imaginando como deveríamos esperar que fosse estranhamente diferente a vida em outras partes do universo, mas desconfio que certas coisas sejam universais onde quer que seja possível encontrar vida. Descobriríamos que toda vida evoluiu de um processo relacionado à seleção natural darwiniana de genes. E que ela depende acentuadamente de proteínas — ou de moléculas que, como as proteínas, sejam capazes de dobrar-se em uma imensa variedade de formas. As moléculas de proteína são virtuoses das artes auto-origâmicas, em uma escala muito menor que a das lâminas de células de que tratamos até agora. As moléculas de proteína são fascinantes vitrines do que pode ser obtido quando regras locais são obedecidas em escala local.

Proteínas são cadeias de moléculas menores chamadas aminoácidos, e essas cadeias, como as

lâminas de células que examinamos, também se dobram, de modos acentuadamente determinados, porém em escala muito menor. Em proteínas que ocorrem naturalmente (este é um fato que presumivelmente seria diferente em mundos alienígenas) existem apenas vinte tipos de aminoácidos, e todas as proteínas são cadeias ligadas a partir apenas desse repertório de vinte, existentes em um conjunto muito maior de possíveis aminoácidos. Agora, vejamos o auto-origami. Moléculas de proteína, simplesmente seguindo as leis da química e da termodinâmica, retorcem-se de modo espontâneo e automático em configurações de formas tridimensionais precisas — eu quase disse em "nós", mas, ao contrário do peixe-bruxa (se me permitem informar um fato irrelevante mas curioso), as proteínas não dão nós em si mesmas. A estrutura tridimensional na qual a cadeia proteica se dobra e se retorce é a "estrutura terciária" que encontramos brevemente quando tratamos da automontagem dos vírus. Qualquer dada sequência de aminoácidos dita um padrão de dobragem específico. A sequência de aminoácidos, que é determinada pela sequência de letras do código genético, determina a forma do padrão terciário. A forma da estrutura terciária, por sua vez, tem consequências químicas imensamente importantes.

O auto-origami pelo qual as cadeias proteicas dobram-se e se contorcem é regido pelas leis da atração química e pelas leis que determinam os ângulos nos quais os átomos se ligam uns aos

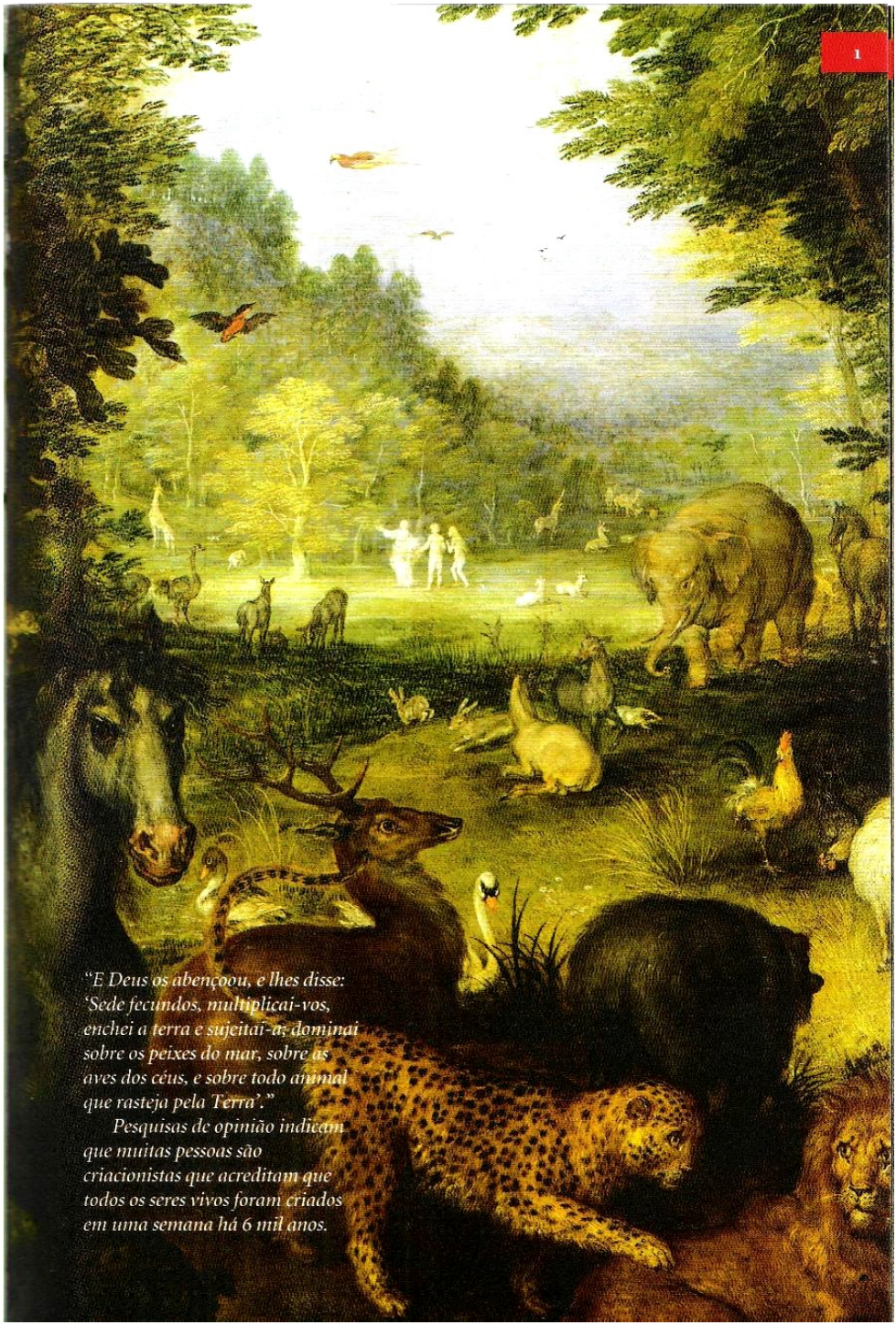
outros. Imagine um colar de ímãs com feitios curiosos. O colar não assumiria uma graciosa forma de curva catenaria ao redor de um belo pescoço. Assumiria alguma outra forma, uma forma emaranhada, pois os ímãs grudariam uns nos outros, se encaixariam nas reentrâncias uns dos outros em vários pontos ao longo da corrente. Ao contrário do que ocorre na cadeia proteica, a forma exata desse emaranhado não seria previsível, porque cada um atrairia qualquer outro. Mas isso sugere como cadeias de aminoácidos podem espontaneamente formar uma complexa estrutura nodosa que pode não ter o feitio de uma corrente ou um colar.

Os detalhes de como as leis da química determinam a estrutura terciária de uma proteína ainda não são plenamente compreendidos: os químicos ainda não sabem deduzir, em todos os casos, como determinada sequência de aminoácidos irá se contorcer. No entanto, há bons indícios de que a estrutura terciária é, em princípio, dedutível da sequência de aminoácidos. Não há nenhum mistério na expressão "em princípio". Ninguém pode predizer como um dado cairá, mas todos acreditamos que isso é totalmente determinado por detalhes precisos do modo como ele é jogado, além de por alguns fatos ligados à resistência do vento etc. É fato demonstrado que uma sequência específica de aminoácidos sempre se contorce em determinada forma ou em uma forma de um conjunto distinto de formas alternativas (veja a longa nota de rodapé na página anterior e nesta. E — eis o

aspecto importante para a evolução — a sequência de aminoácidos é, ela própria, totalmente determinada, através da implementação das regras do código genético, pela sequência de "letras" (tripletes) em um gene. Embora não seja fácil para os químicos humanos predizer que mudança na forma da proteína resultará de uma dada mutação genética, ainda assim é um fato que, uma vez ocorrida uma mutação, a resultante mudança na forma da proteína será em princípio previsível. O mesmo gene mutante produzirá, confiavelmente, a mesma forma proteica alterada (ou um menu distinto de formas alternativas). E isso é tudo o que importa para a seleção natural. A seleção natural não precisa entender por que uma mudança genética tem determinada consequência. Basta que ela produza essa consequência. Se a consequência afetar a sobrevivência, o próprio gene mudado sobreviverá ou sucumbirá na competição para dominar o reservatório gênico, entendamos nós ou não a rota exata pela qual o gene afeta a proteína.

Dado que a forma da proteína é extremamente versátil e que é determinada por genes, por que ela é de suprema importância? Em parte porque algumas proteínas desempenham um papel estrutural direto no corpo. Proteínas fibrosas, como o colágeno, juntam-se e formam fortes cordões aos quais damos o nome de ligamentos e tendões. Mas a maioria das proteínas não é fibrosa. Em vez disso, elas se dobram em sua característica forma globular, com reentrâncias sutis, e essa forma determina o papel

característico da proteína como uma enzima, que é um catalisador.
Catalisador é uma substância química que acelera, até 1 bilhão ou mesmo 1trilhão de vezes, uma reação química entre outras substâncias, enquanto o catalisador emerge inalterado e livre do processo para catalisar novamente. As enzimas, que são catalisadoras de proteínas, são as campeãs entre os catalisadores graças à sua especificidade: são muito exigentes quanto às reações químicas exatas que elas aceleram. Ou talvez pudéssemos dizer assim: as reações químicas nas células vivas são muito exigentes quanto a quais enzimas podem acelerá-las. Muitas reações na química celular são tão lentas que, sem a enzima certa, para fins práticos não ocorrem. Mas com a enzima apropriada elas acontecem muito depressa e podem gerar produtos em grande quantidade.

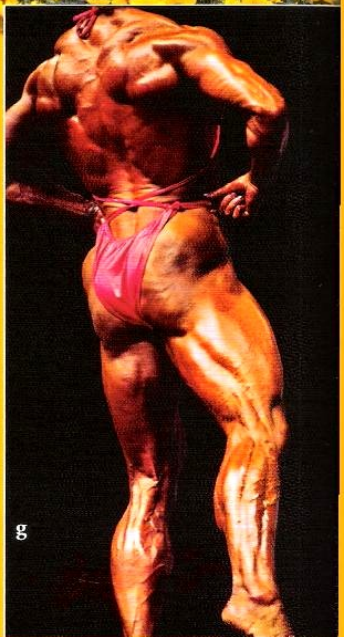


"E Deus os abençoou, e lhes disse: 'Sede fecundos, multiplicai-vos, enchei a terra e sujeitai-a; dominai sobre os peixes do mar, sobre as aves dos céus, e sobre todo animal que rasteja pela Terra'."

Pesquisas de opinião indicam que muitas pessoas são criacionistas que acreditam que todos os seres vivos foram criados em uma semana há 6 mil anos.

*O que a seleção artificial pode fazer em curtíssimo tempo: couve selvagem (**a**) e suas descendentes úteis (**b**) e enormes (**c**). Os girassóis (**d**) foram selecionados artificialmente há muito tempo por nativos americanos e (**e**) aprimorados por horticultores modernos.*

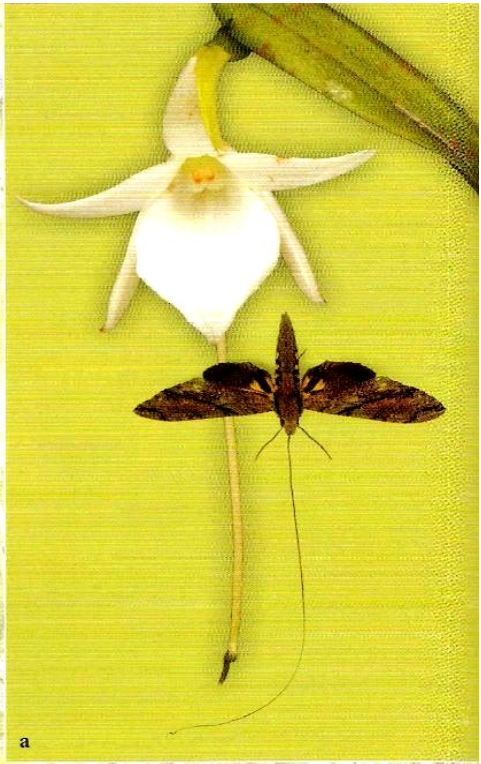
*A montanha de carne da raça Belgian Blue (**f**) é produto de mutações manipuladas. A montanha de músculos dessa mulher (**g**) foi artificialmente nutrida e exercitada. Mudanças induzidas pelo meio podem imitar muito bem mudanças genéticas.*

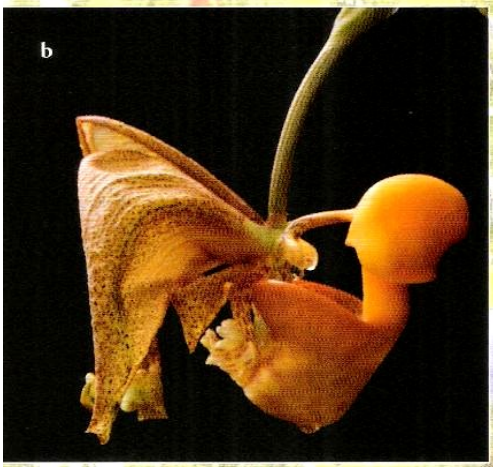


(**h**) *Chihuahua e dinamarquês: sob a pele ambos são lobos, mas quem suporia isso com base na aparência que eles têm depois de alguns séculos de seleção artificial?*

h

(***a***) *O longo nectário dessa orquídea de Madagascar levou Darwin e Wallace a predizer que um dia seria descoberta uma língua de comprimento equivalente. Anos depois ela foi encontrada: a mariposa* Xanthopan morgani praedicta, *conhecida como "mariposa de Darwin". (**b**) Orquídea* Coryanthes speciosa*: um dos mais elaborados expoentes da polinização em estilo "bala de prata". (**c**) Abelha euglossina fica com pólen grudado no corpo ao esforçar-se para sair de uma orquídea* Coryanthes.





(***d***) *Mariposa pensando que é beija-flor? Essa mariposa* (Macroglossum stellatarum) *é um impressionante exemplo de evolução convergente. (**e**) Beija-flor elegantemente em ação. Flores vermelhas em geral são polinizadas por aves, pois estas, ao contrário dos insetos, veem bem no extremo vermelho do espectro. (**f**) Pássaro-sol sugando néctar de uma flor vermelha na África. (**g**) Vespa da família* Tiphiidae *cavalga uma pinoteante orquídea-martelo. (**h**) Armadilha melífera? Essa orquídea é uma impostora e aproveita sua semelhança com uma abelha fêmea para atrair um zangão que tentará copular com ela. (**i**) Prímula* (Oenothera biennis) *como a vemos. (**j**) A mesma prímula como é vista por um inseto? Não exatamente, mas com falsas cores mostrando os padrões que poderiam ser vistos por um inseto, que enxerga raios ultravioleta. (**k**) Orquídea-aranha. A semelhança com uma aranha foi moldada por seleção natural?*

d

g

e

h

f

i

j

k

*As cores vistosas do faisão (**a**) foram selecionadas por gerações de faisoas. (**b**) Faisões aquáticos? Lebistes machos em águas sem predadores ficam livres para adquirir por evolução cores vistosas que atraem os predadores. Como fizeram com as rosas e as tulipas, criadores humanos perceberam essa tendência e a intensificaram. Esses lebistes agradam tanto aos aquaristas como às fêmeas.*

*(**c**) O perigo espreita na beleza. Louva-a-deus* Hymenophus coronatus *espera por insetos, atraídos pela flor que ele imita. (**d**) Outros louva-a-deus imitam folhas; essa é a ninfa (estágio juvenil) de um deles. Alguns animais, como essa lagartixa (**e**) sul-americana, imitam folhas mortas. (**f**) Essa não é a parte dianteira de uma cobra, e sim a traseira de uma lagarta. Os ancestrais dela sobreviveram porque um número significativo de possíveis predadores foram afugentados pela semelhança.*

a

b

c

d

e

f

Um gorila entre nós. Assombrosa evidência de que o testemunho ocular não é confiável (*ver texto da p. 24*).

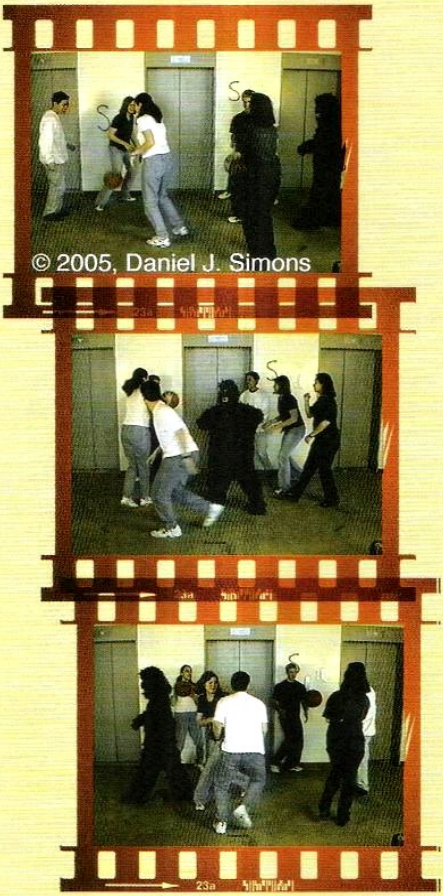
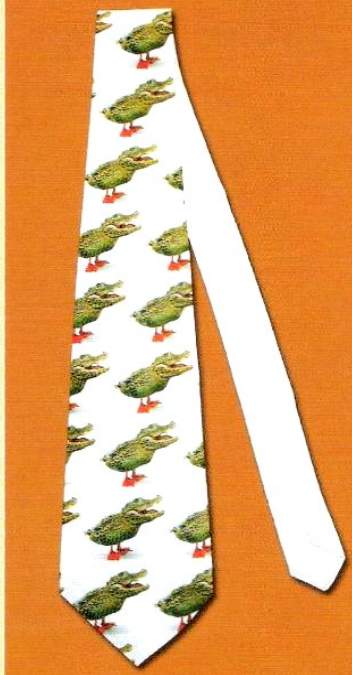
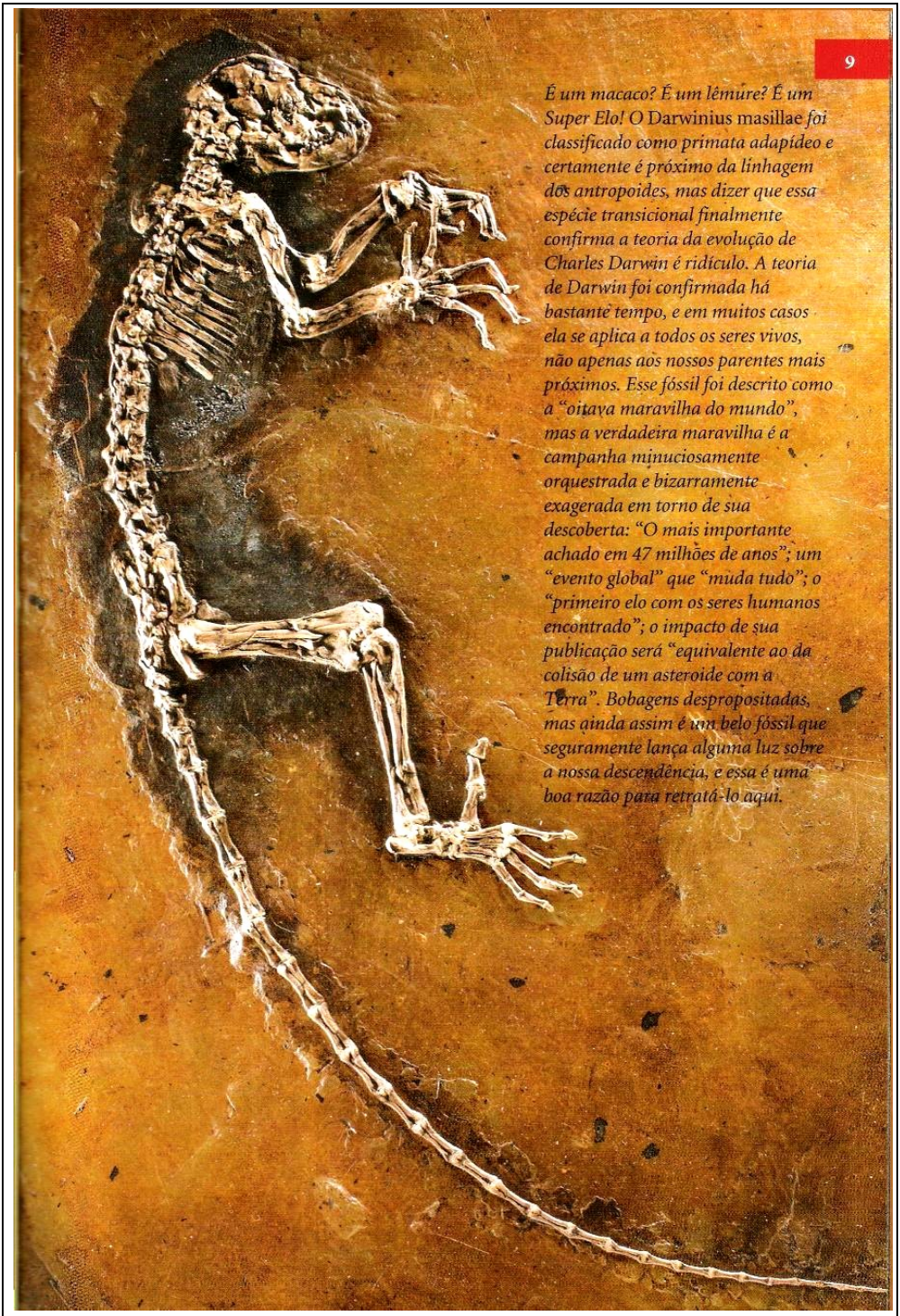


Imagem fornecida por Daniel Simons. O vídeo retratado nesta figura está disponível como parte de um DVD de Viscog Productions (http://www.viscog.com).

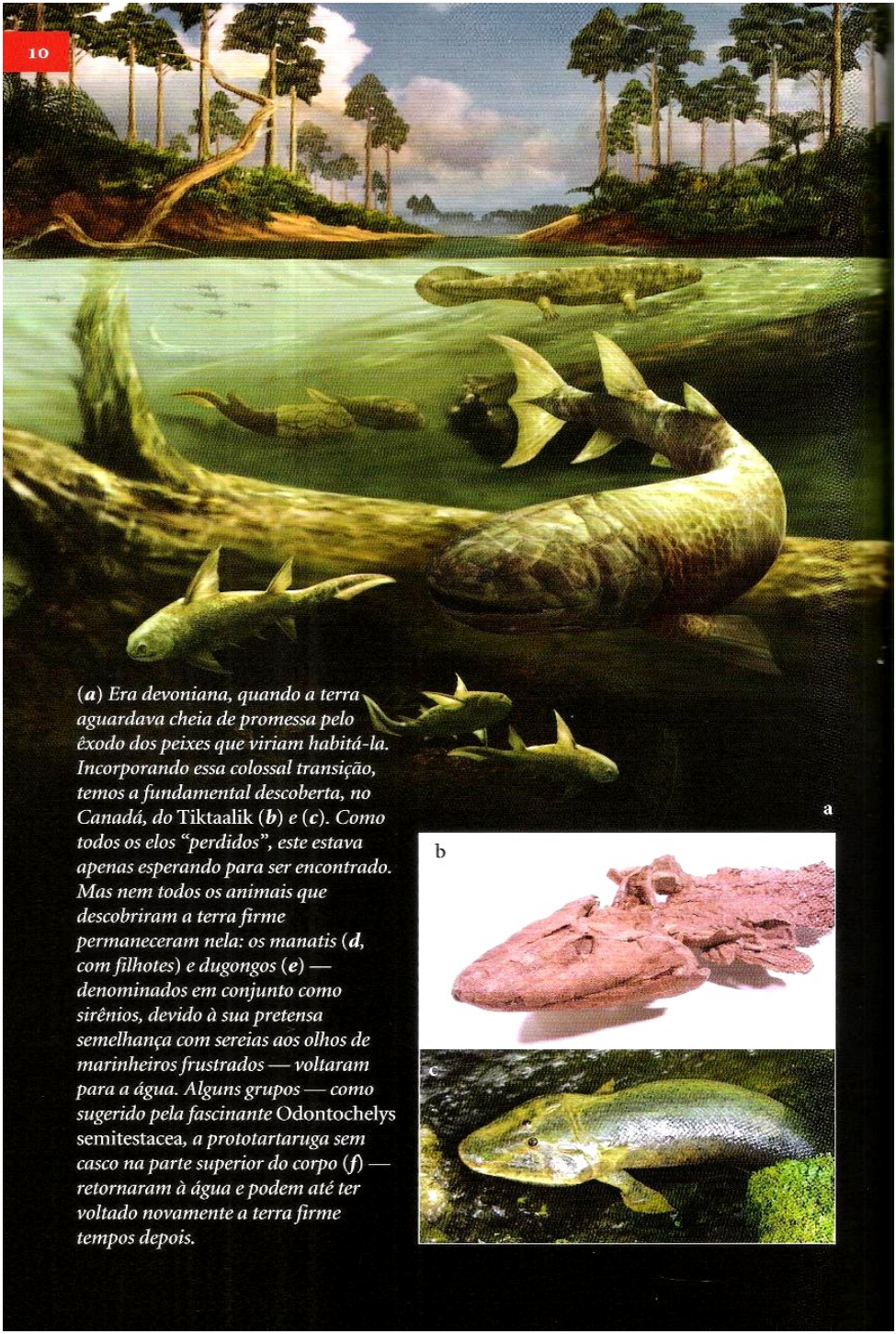


Se a evolução é verdade, por que o mundo não está repleto de crocopatos e rācacos, cāopótamos e cangurelhos? Para celebrar esse argumento nocauteante (*veja texto da pp. 146-7*), *Josh Timonen gentilmente fez para mim uma gravata de crocopato, a ser usada em honra aos criacionistas de todas as partes.*

Isca tentadora para tapear um sôfrego criacionista (*ver texto da p. 148*)

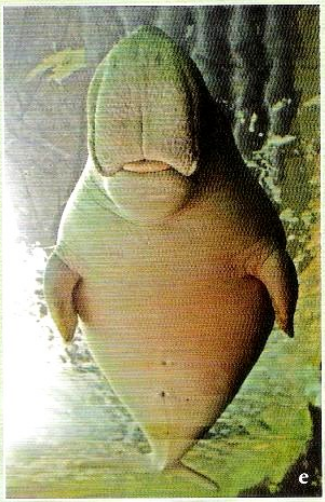


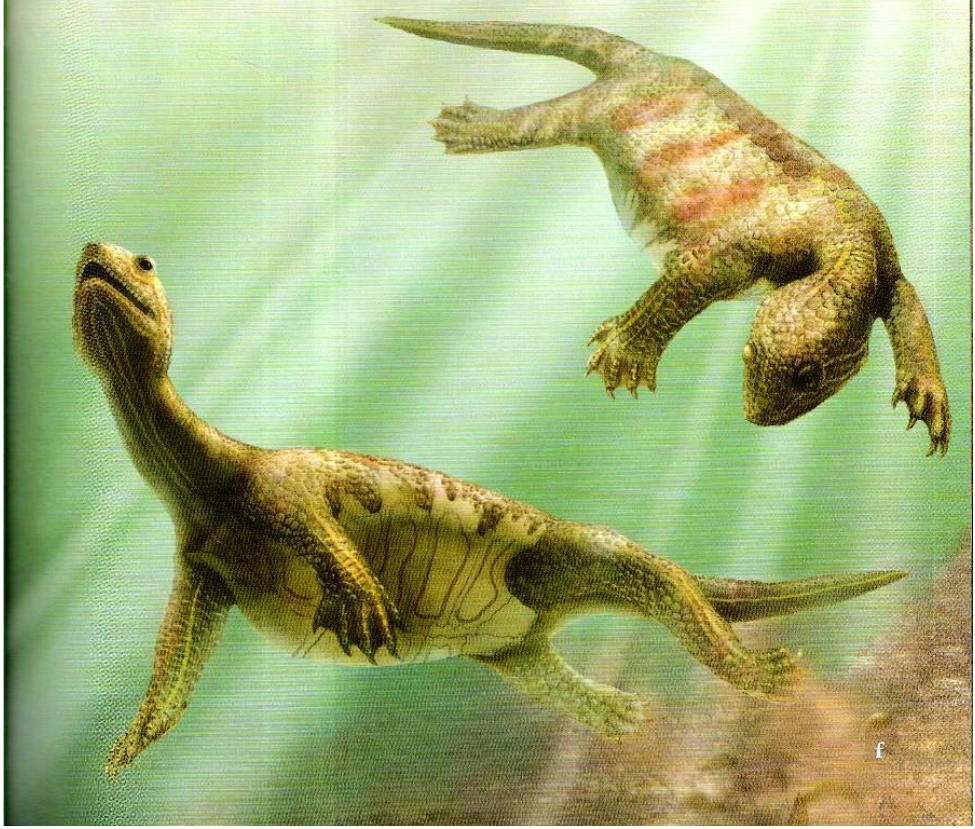
É um macaco? É um lêmure? É um Super Elo! O Darwinius masillae *foi classificado como primata adapídeo e certamente é próximo da linhagem dos antropoides, mas dizer que essa espécie transicional finalmente confirma a teoria da evolução de Charles Darwin é ridículo. A teoria de Darwin foi confirmada há bastante tempo, e em muitos casos ela se aplica a todos os seres vivos, não apenas aos nossos parentes mais próximos. Esse fóssil foi descrito como a "oitava maravilha do mundo", mas a verdadeira maravilha é a campanha minuciosamente orquestrada e bizarramente exagerada em torno de sua descoberta: "O mais importante achado em 47 milhões de anos"; um "evento global" que "muda tudo"; o "primeiro elo com os seres humanos encontrado"; o impacto de sua publicação será "equivalente ao da colisão de um asteroide com a Terra". Bobagens despropositadas, mas ainda assim é um belo fóssil que seguramente lança alguma luz sobre a nossa descendência, e essa é uma boa razão para retratá-lo aqui.*

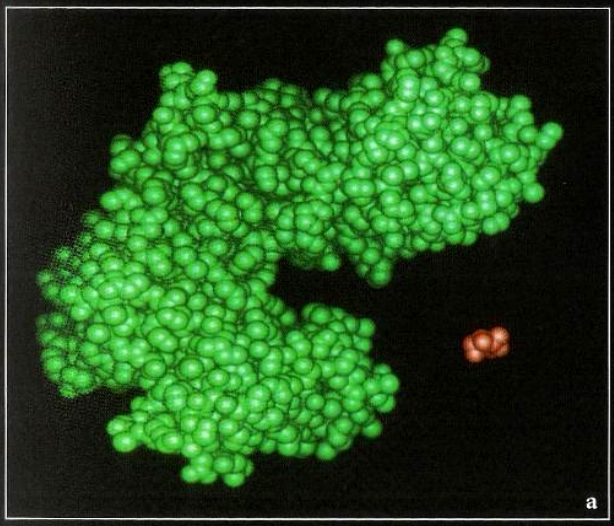


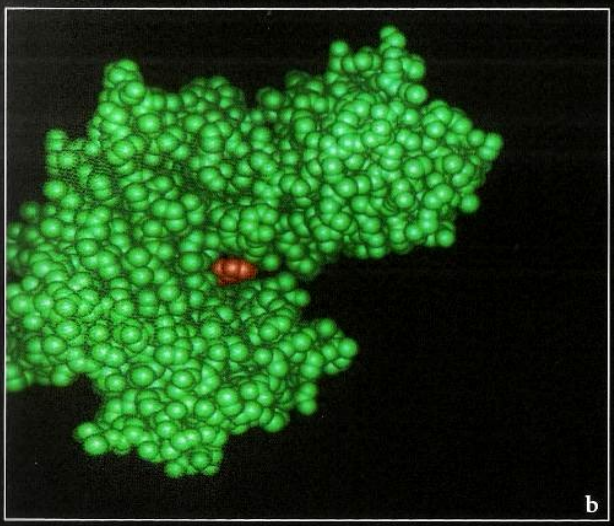
(***a***) *Era devoniana, quando a terra aguardava cheia de promessa pelo êxodo dos peixes que viriam habitá-la. Incorporando essa colossal transição, temos a fundamental descoberta, no Canadá, do* Tiktaalik (***b***) *e* (***c***). *Como todos os elos "perdidos", este estava apenas esperando para ser encontrado. Mas nem todos os animais que descobriram a terra firme permaneceram nela: os manatis* (***d***, *com filhotes*) *e dugongos* (***e***) — *denominados em conjunto como sirênios, devido à sua pretensa semelhança com sereias aos olhos de marinheiros frustrados — voltaram para a água. Alguns grupos — como sugerido pela fascinante* Odontochelys semitestacea, *a prototartaruga sem casco na parte superior do corpo* (***f***) — *retornaram à água e podem até ter voltado novamente a terra firme tempos depois.*

d

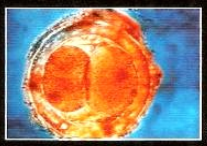

e


f

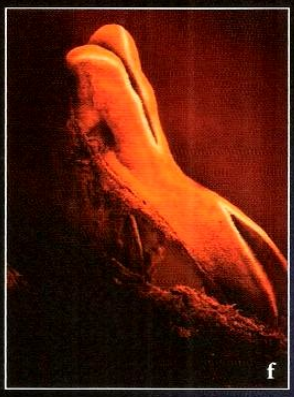


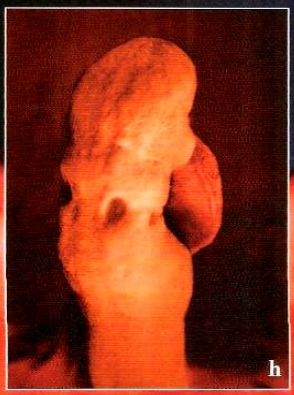


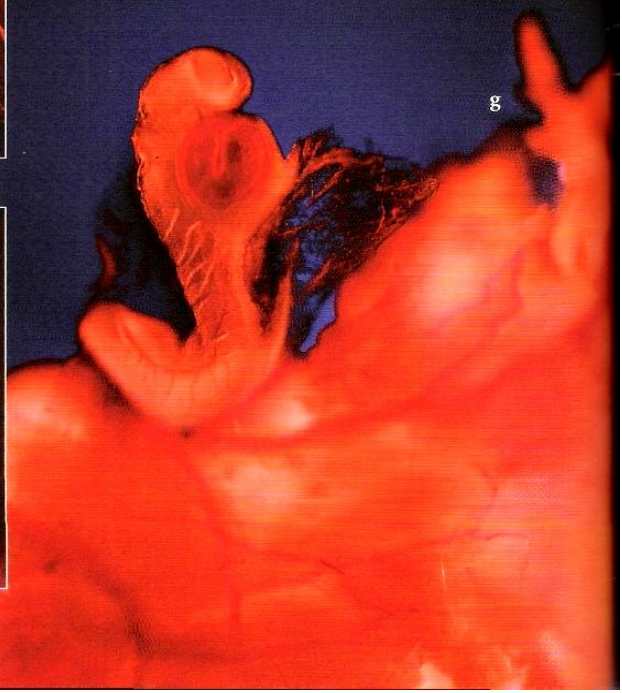
(***a***) e (***b***) *A grande molécula verde é hexocinase, uma enzima importante que processa glicose (a pequena molécula marrom) acrescentando-lhe fosfato. As "mandíbulas" abertas (o "sítio ativo") da enzima em* (***a***) *encaixa firmemente a glicose* (***b***) *e a retém enquanto o fosfato é adicionado, depois a libera.* (***c***) *Mesmo uma única célula é assombrosamente complexa. Longe de ser apenas um saco cheio de fluido, a célula é dotada de elaboradas máquinas membranosas e "esteiras transportadoras" moleculares. A chave para compreendermos como toda essa complexidade é montada é saber que tudo é feito em âmbito local, por entidades pequenas que obedecem a regras* locais.

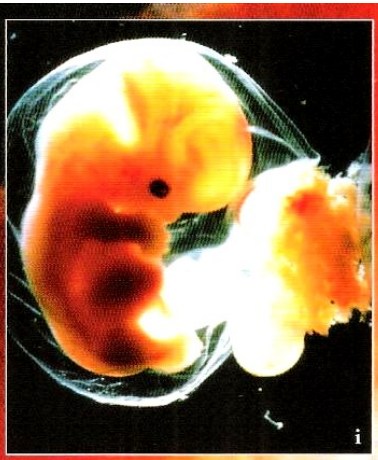


*Estágios do desenvolvimento humano. O óvulo fertilizado ou zigoto (**a**) divide-se em dois (**b**), depois em quatro, depois oito (**c**), dezesseis (**d**), tudo isso sem que aumente o tamanho total. Aos dez dias, o embrião implanta-se na parede do útero (**e**). Aos 22 dias o tubo neural começa a se formar (**f**). Aos 24 dias (**g**) o embrião lembra um peixe minúsculo. Aos 25 dias (**h**) a face está em formação. Os pequenos orifícios próximos à parte posterior da cabeça são as orelhas embriônicas.*



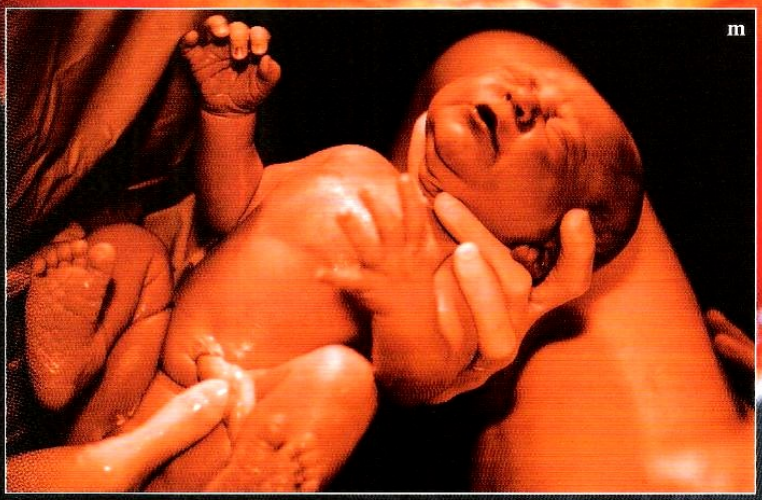




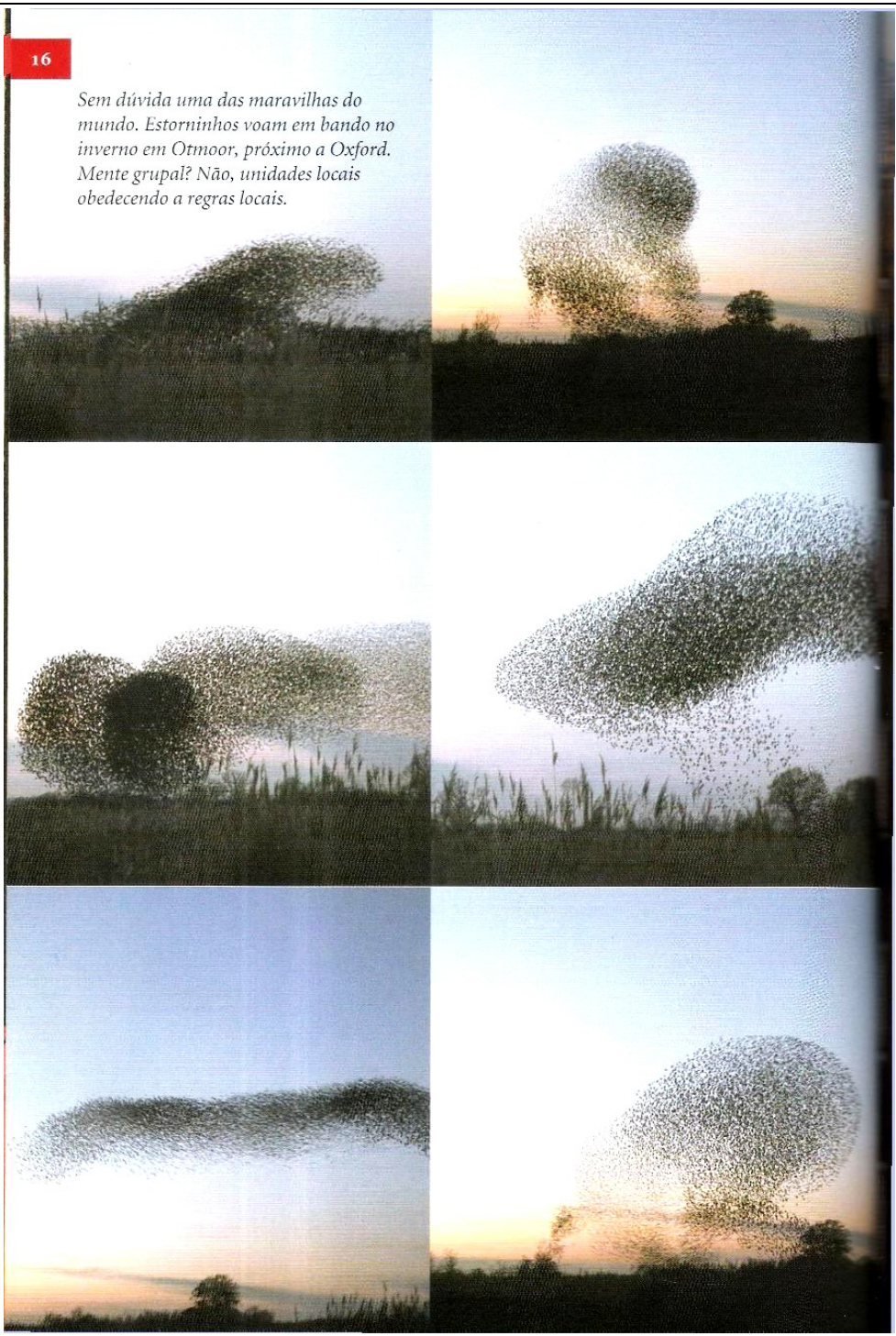


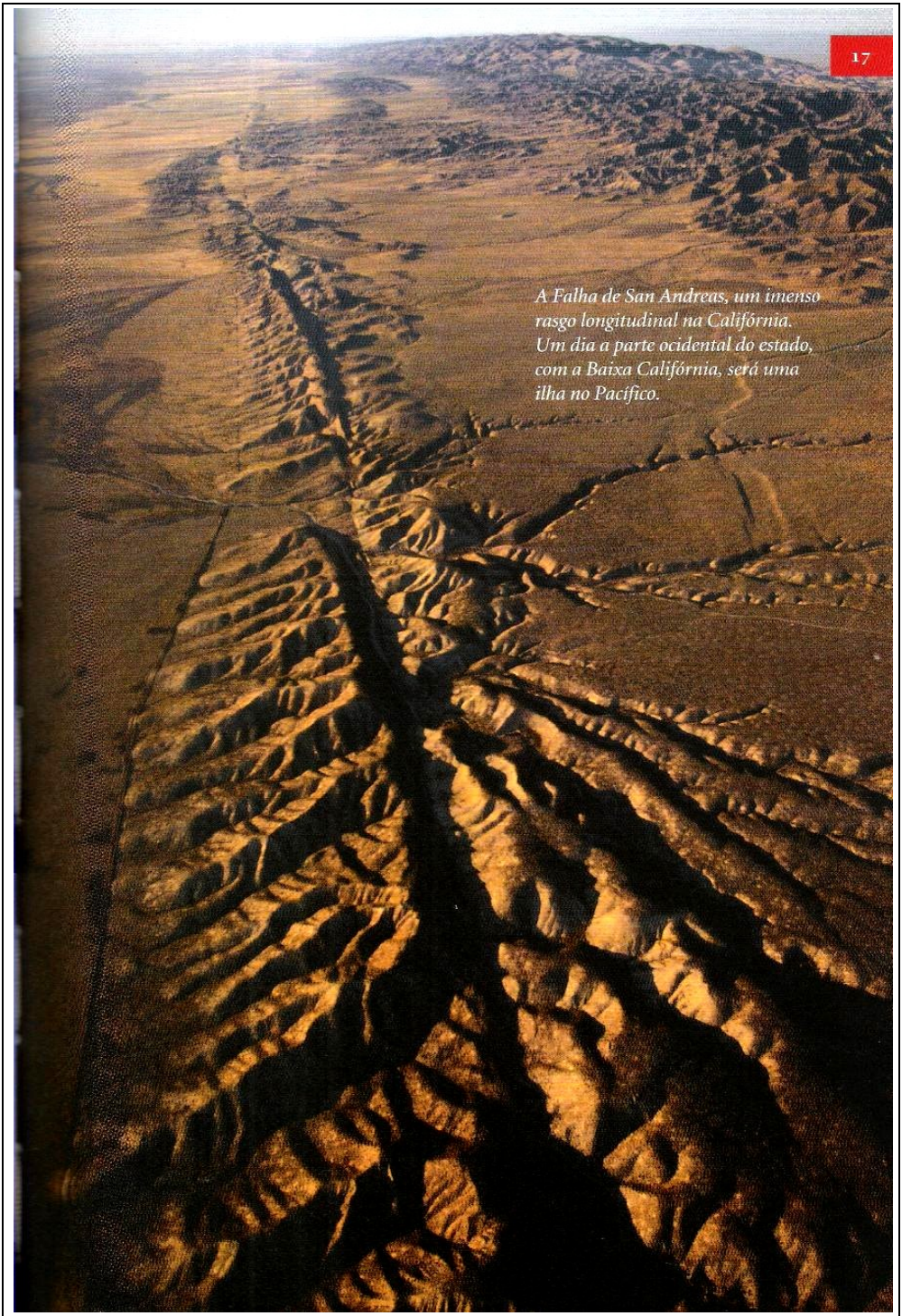
j

*De cinco para seis semanas (**i**) o embrião começa a assemelhar-se a um bebê e continua a crescer, com mudança de proporções, até o nascimento (**m**) e depois.*



Sem dúvida uma das maravilhas do mundo. Estorninhos voam em bando no inverno em Otmoor, próximo a Oxford. Mente grupal? Não, unidades locais obedecendo a regras locais.

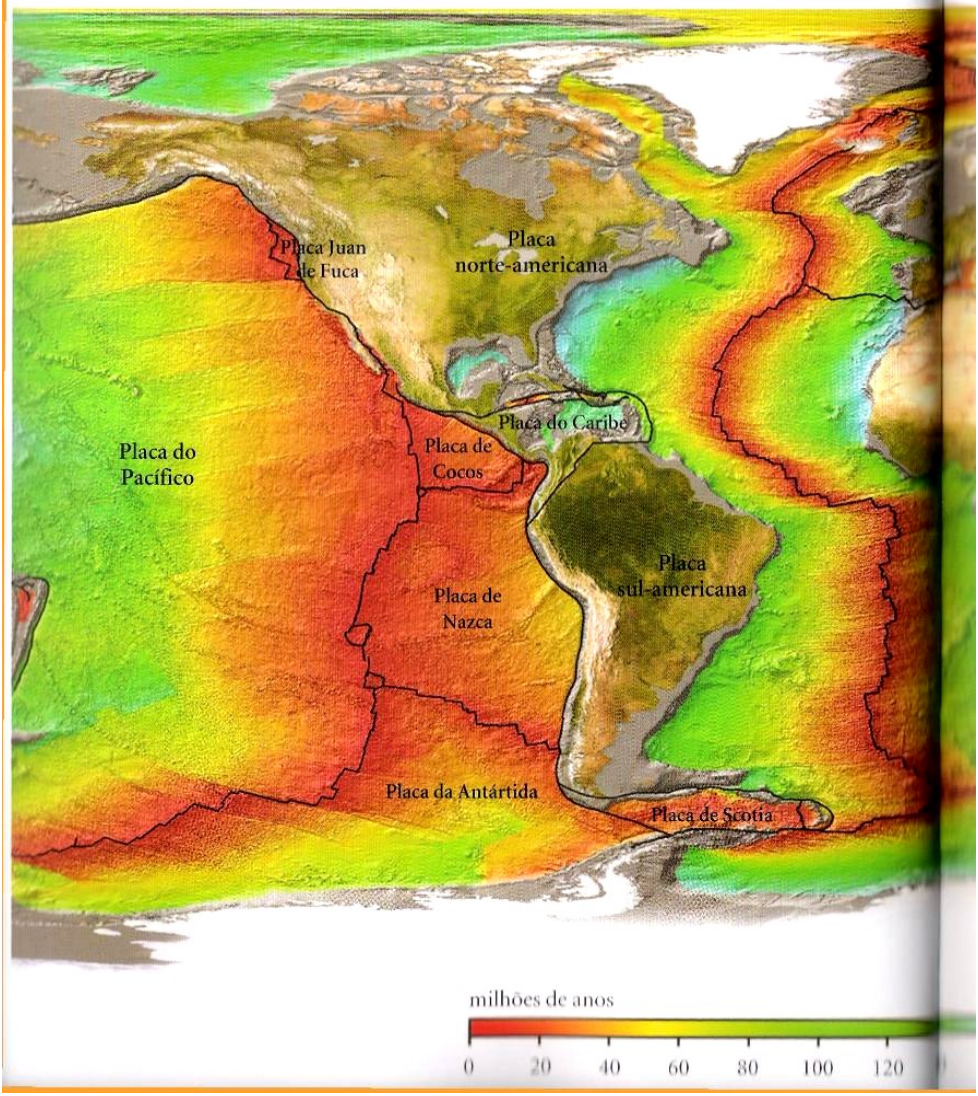


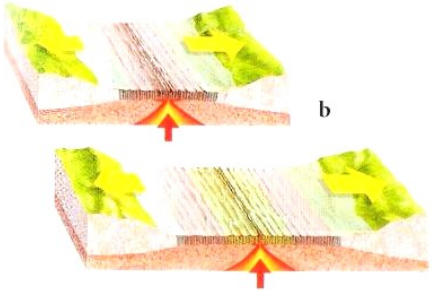


A Falha de San Andreas, um imenso rasgo longitudinal na Califórnia. Um dia a parte ocidental do estado, com a Baixa Califórnia, será uma ilha no Pacífico.

(*a*) *Codificação por cores da idade das rochas submersas. O submarino hipotético do capítulo 9 segue um curso diretamente a leste partindo da área protuberante do contorno do território brasileiro e chega às rochas jovens da dorsal mesoatlântica no meio da travessia.* (*b*) *O espalhamento do assoalho oceânico e* (*c*) *as profundas e lentas correntes de convexão que impelem o movimento das placas.*

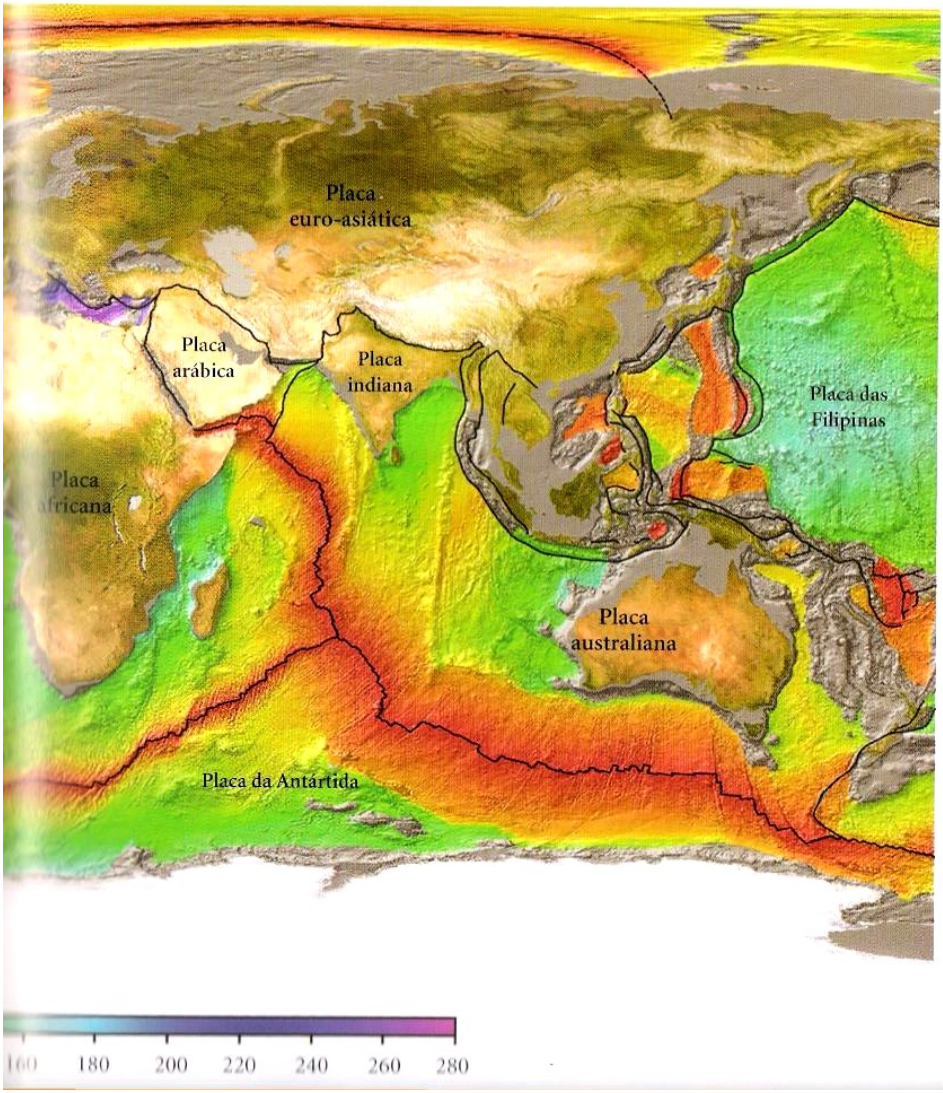
a

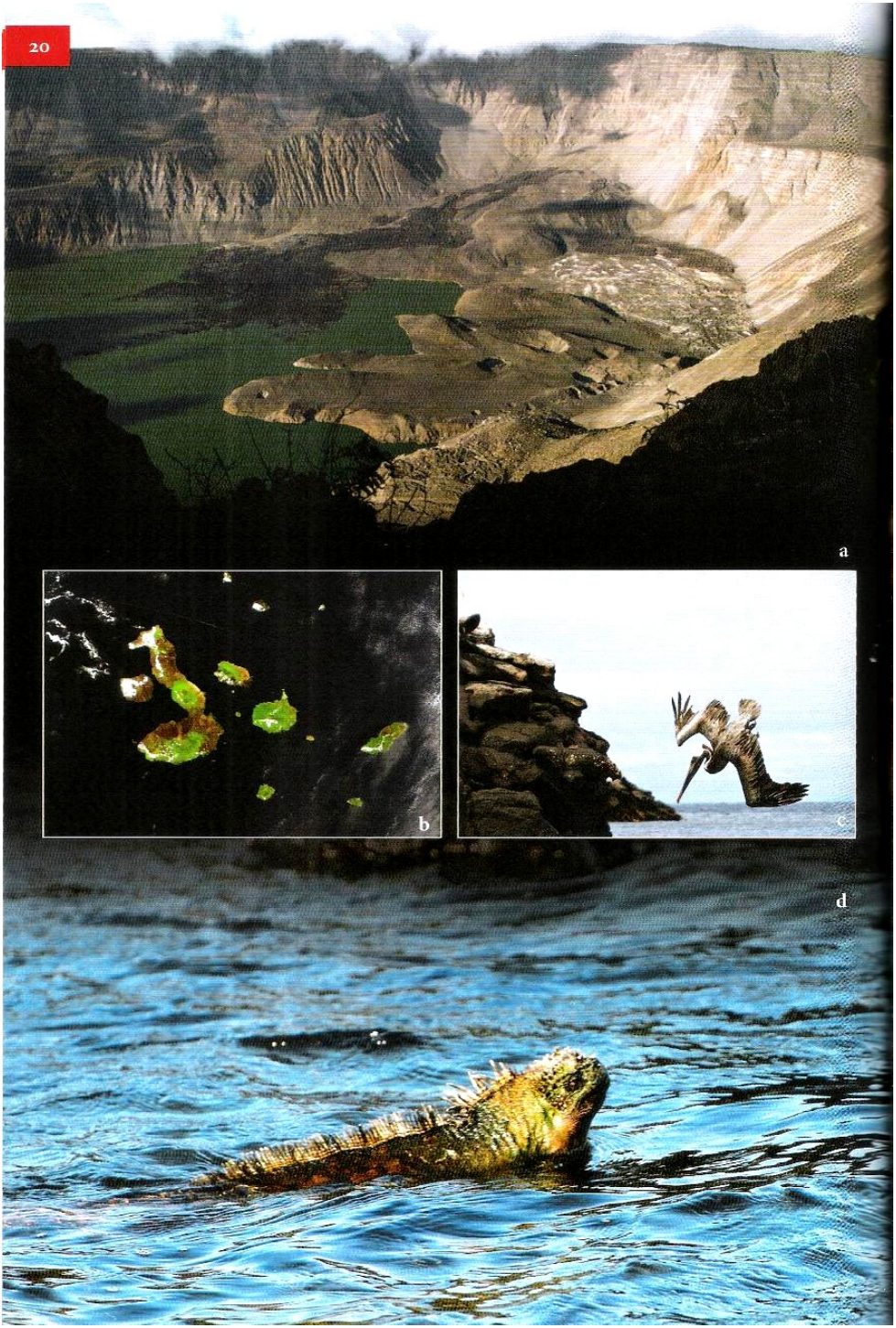




b

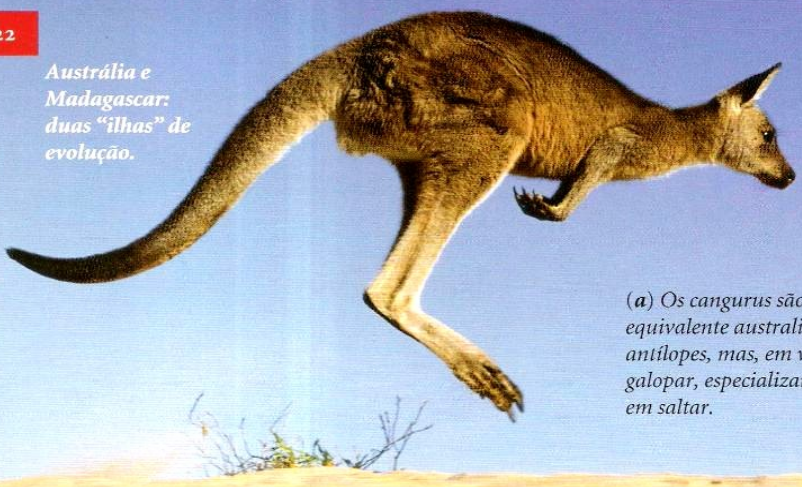
c


Placa euro-asiática
Placa arábica
Placa indiana
Placa das Filipinas
Placa africana
Placa australiana
Placa da Antártida
160
180
200
220
240
260
280

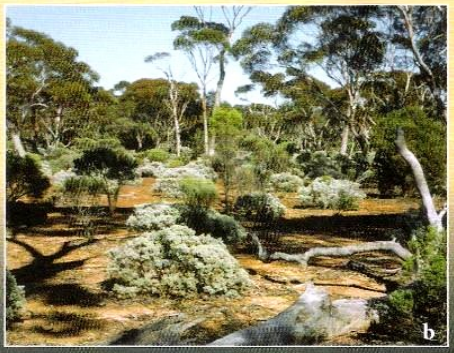

a
b
c
d

Galápagos: jovem vitrine da evolução? *(**a**) Caldeira em Fernandina, a mais recente ilha das Galápagos e a que apresenta a mais intensa atividade vulcânica. (**b**) Vista aérea das Galápagos, mostrando o verde em áreas elevadas (vulcões) e a cor escura das planícies de lava. (**c**) Pelicano nas Galápagos mergulha para pegar peixes. Essa subespécie de* Pellecanus occidentalis *que vive nas Galápagos recebeu, não sei por quê, o nome de* urinator. *(**d**) Iguana-marinho nadando nas Galápagos. Esse hábito é único entre os lagartos. Os jabutis gigantes das Galápagos diferem de ilha para ilha. A forma de sela (**e**), em contraste com o formato abobadado do casco dos jabutis que se alimentam de grama (**f**) é característica das ilhas onde os jabutis comem cactos e, por isso, precisam esticar o pescoço mais para o alto. (**g**) Cena típica das Galápagos: pelicano-pardo das Galápagos, pinguim-das-galápagos (o único pinguim a alcançar (por pouco) o hemisfério norte) e caranguejos* (Grapsus grapsus) *em rochas de lava escuras.*

Austrália e Madagascar: duas "ilhas" de evolução.



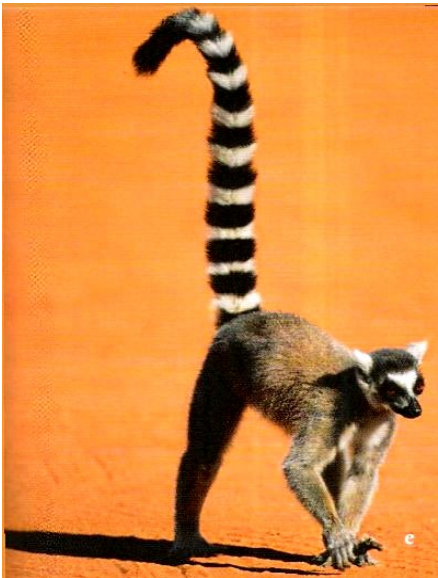
(***a***) *Os cangurus são o equivalente australiano dos antílopes, mas, em vez de galopar, especializaram-se em saltar.*

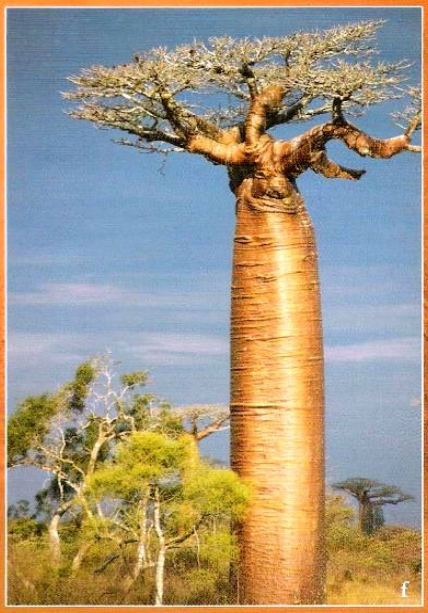


(***b***) *Eucaliptos dominam as florestas australianas.*

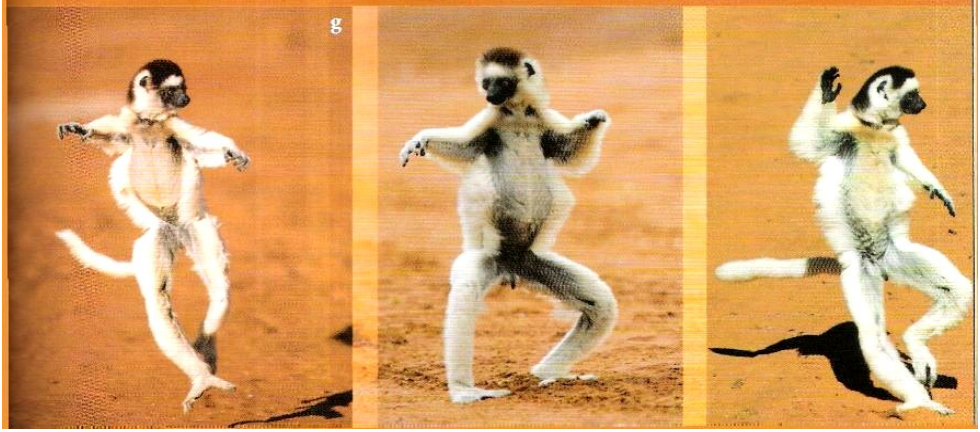
(***c***) *Os coalas são as preguiças das florestas australianas, e ambos se assemelham na taxa metabólica lenta. Especializaram-se em comer folhas de eucalipto, talvez porque poucos animais sejam capazes de lidar com as toxinas dessa planta. Note o filhote na bolsa, cuja abertura é virada para baixo, provavelmente devido a algum acidente histórico.*

(***d***) *O ornitorrinco é um sobrevivente de tempos remotos em que os mamíferos de Gondwana ainda punham ovos.*

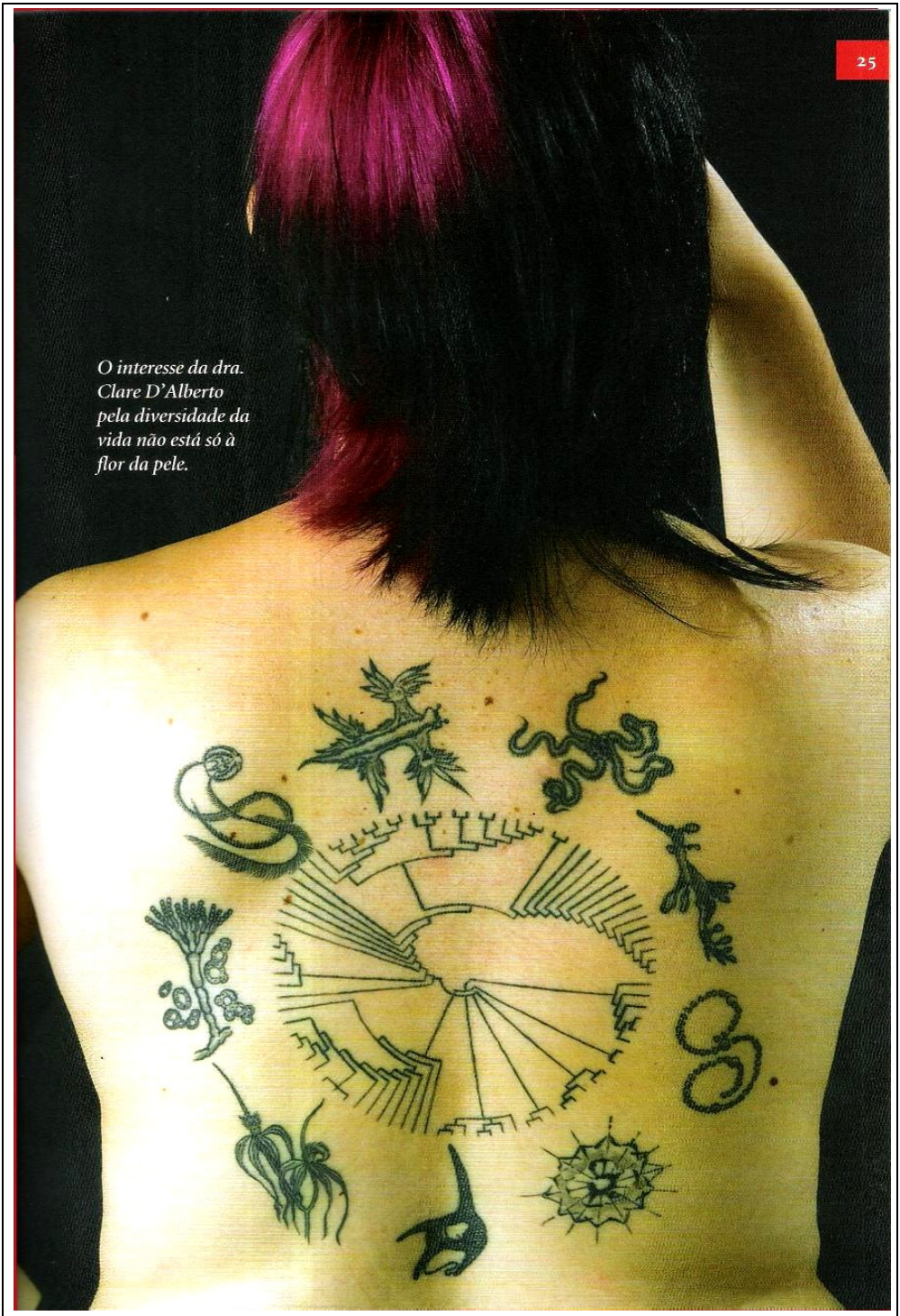




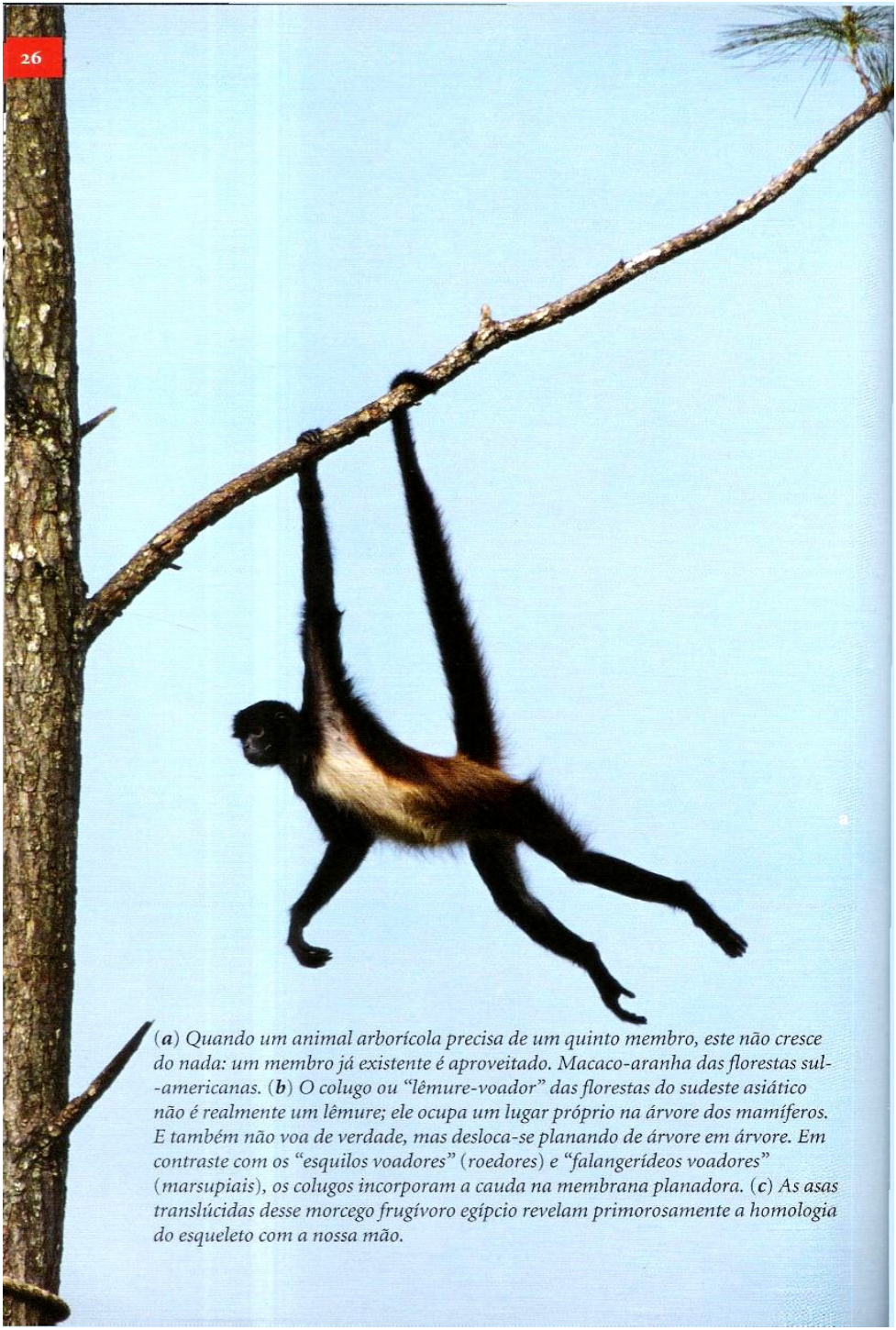
(***e***) *Lêmure-de-cauda-anelada. Se o* Beagle *houvesse atracado em Madagascar em vez de nas Galápagos, será que hoje falaríamos em "lêmures de Darwin"?* (***f***) *Árvores marcianas seriam mais estranhas do que esse baobá de Madagascar?* (**g**) *Possivelmente minha espécie favorita no mundo todo: sifaka-de-verreaux.*



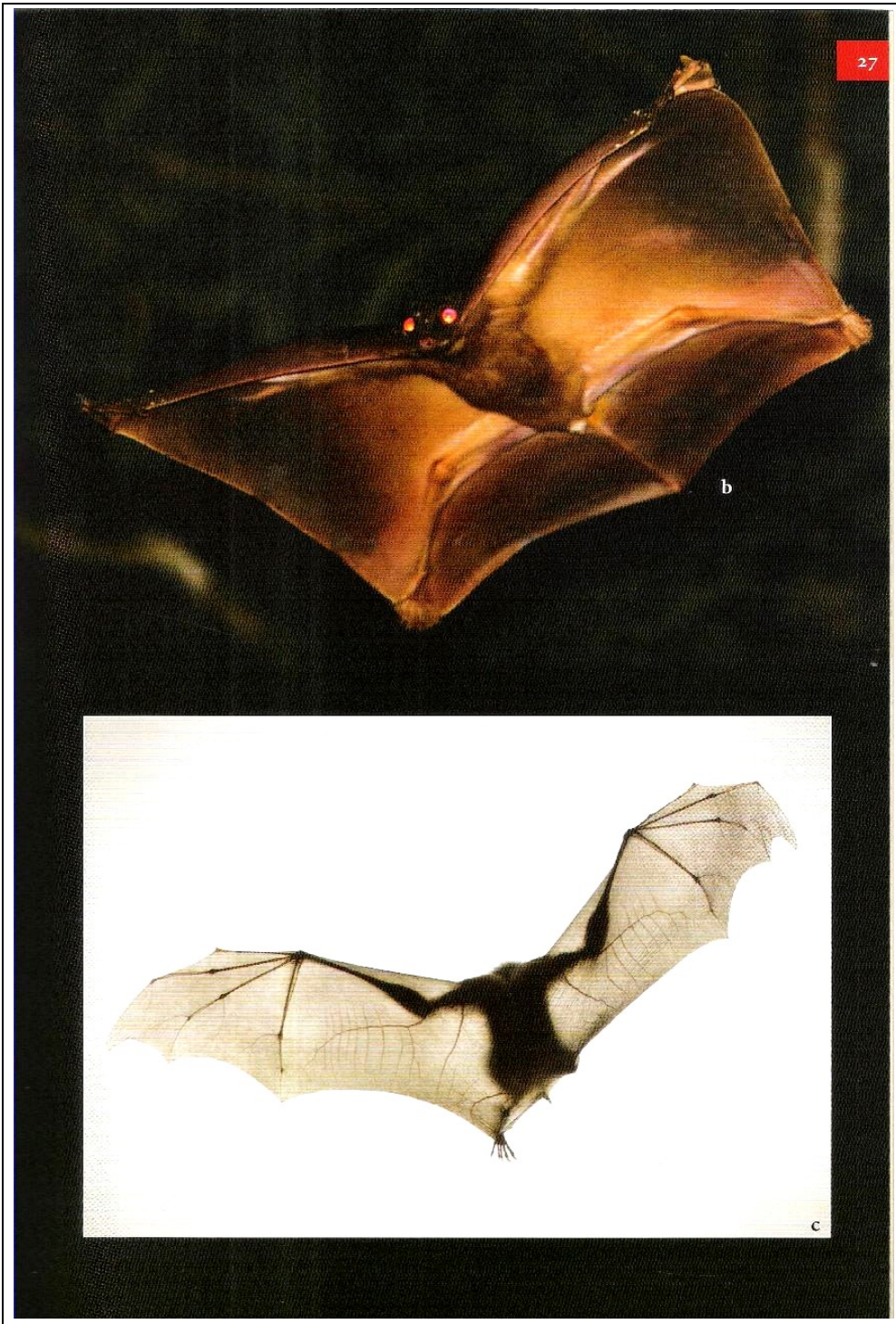
Não ria das "posturas de ioga" do atobá-de-pata-azul. Com essa exibição ele impressiona outros de sua espécie, e isso é o que importa.



O interesse da dra. Clare D'Alberto pela diversidade da vida não está só à flor da pele.



(***a***) *Quando um animal arborícola precisa de um quinto membro, este não cresce do nada: um membro já existente é aproveitado. Macaco-aranha das florestas sul-americanas.* (***b***) *O colugo ou "lêmure-voador" das florestas do sudeste asiático não é realmente um lêmure; ele ocupa um lugar próprio na árvore dos mamíferos. E também não voa de verdade, mas desloca-se planando de árvore em árvore. Em contraste com os "esquilos voadores" (roedores) e "falangerídeos voadores" (marsupiais), os colugos incorporam a cauda na membrana planadora.* (***c***) *As asas translúcidas desse morcego frugívoro egípcio revelam primorosamente a homologia do esqueleto com a nossa mão.*



b

c

*Os tocos de asa dessas aves não voadoras traem inequivocamente sua descendência de ancestrais voadores. O avestruz (**a**) ainda usa suas asas, mas apenas para equilibrar-se e para fins sociais. O cormorão-das-galápagos (**b**) ainda estende suas asas inúteis para secá-las, como fazem seus primos voadores mais conhecidos. Ele é um exímio pescador submarino (**c**) mas, ao contrário dos pinguins, não usa as asas para nadar, e impele o corpo com vigorosos movimentos de seus pés palmados. (**d**) "Infelizmente", disse Douglas Adams, "o kakapo não só esqueceu como se voa, mas também não se lembra de que esqueceu como se voa. Às vezes um kakapo dá a impressão de estar seriamente preocupado, sobe correndo numa árvore, salta lá de cima, voa como um tijolo e se estatela feito uma trouxa no chão."*

c

f

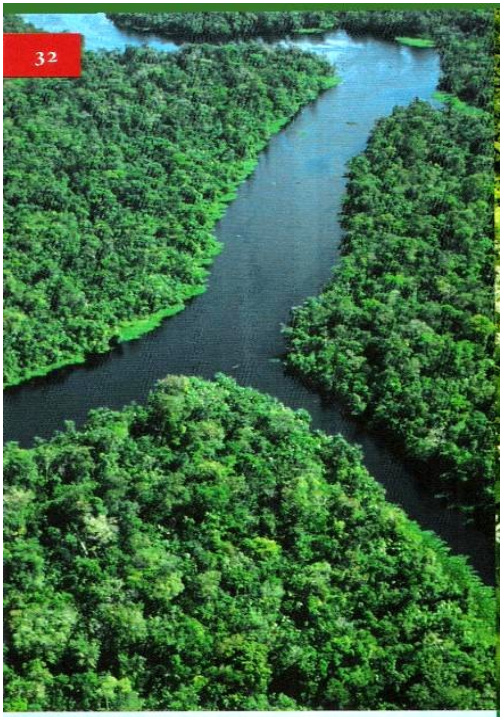
e

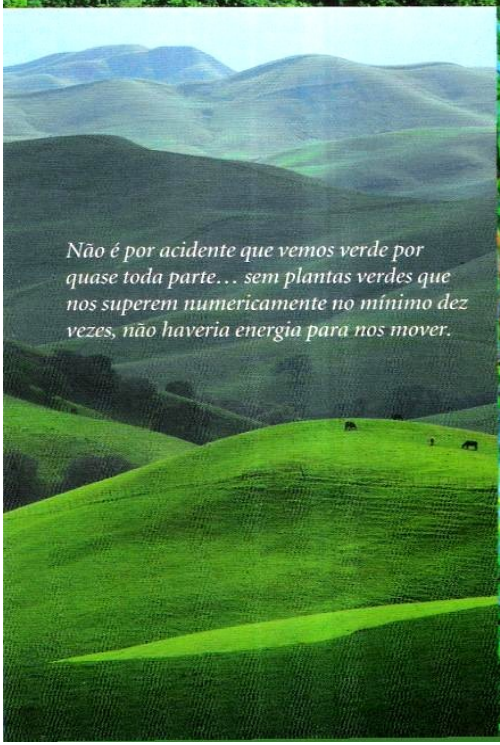
(*e*) *Asas são um estorvo no subsolo, e provavelmente é por isso que não crescem nas formigas operárias. Um pungente testemunho disso é o fato de que as formigas rainhas usam suas asas apenas uma vez na vida: para sair voando do ninho onde nasceram e encontrar um parceiro, cavando então um buraco para o novo formigueiro. Quando começam a nova vida subterrânea, a primeira coisa que fazem é perder as asas, em alguns casos arrancando-as a mordidas.*

(*f*) *Muitos animais cavernícolas, como essa salamandra, são brancos. Mas apesar de não usarem olhos na escuridão das cavernas, por que "dão-se o trabalho" de reduzi-los? Ver texto na p. 330. Os golfinhos, que são mamíferos (g), têm uma semelhança superficial com peixes grandes que nadam velozmente, como o dourado, porque têm hábitos semelhantes.*

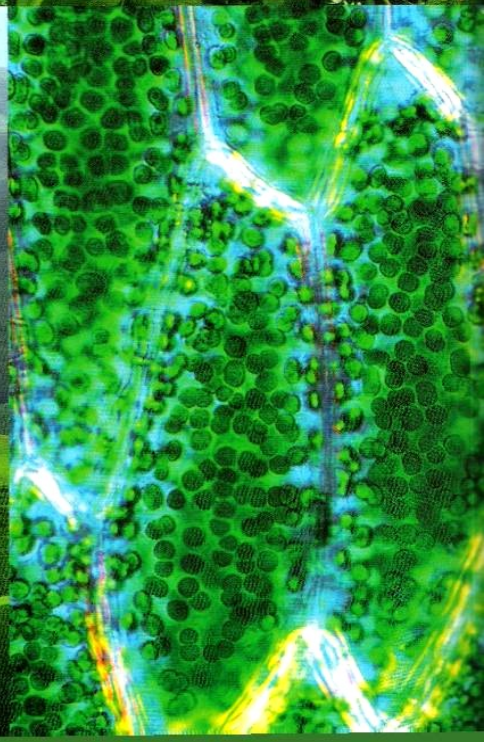
g

Produtos de corridas armamentistas evolucionárias. (a) O filhote de cuco instintivamente mata seu irmão de criação antes que ele possa sair do ovo e competir por alimento — "Assassino do acentor no galho que te gerou" [Chaucer, "The parlement of foules"]. (b) Esse antílope africano perdeu a corrida com a leoa e sua vida logo se encerrará, mas as corridas armamentistas entre os reservatórios genéticos das duas espécies prossegue no tempo evolucionário. (c) Uma vespa parasitoide pôs ovos dentro dessa lagarta, e as larvas de vespa agora irrompem, cheias de vida, para transmitir seus genes à geração seguinte. (d) Na economia da floresta, a luz é um bem precioso. Sob o dossel há pouca luz disponível, pois no dossel todo o espaço é disputado pelas árvores e quase não sobram lacunas.





Não é por acidente que vemos verde por quase toda parte… sem plantas verdes que nos superem numericamente no mínimo dez vezes, não haveria energia para nos mover.



Gosto de usar a idéia a seguir para explicar esse processo. Um laboratório químico tem centenas de frascos e potes nas prateleiras, cada qual contendo uma substância pura distinta: compostos e elementos, soluções e pós. O químico que deseja obter determinada reação química escolhe dois ou três frascos, extrai uma amostra de cada um, mistura as amostras num tubo de ensaio ou num frasco, talvez aplique calor, e a reação ocorre. Outras reações químicas que poderiam acontecer no laboratório não ocorrem, porque as paredes de vidro dos frascos e potes impedem que os ingredientes se encontrem. Se quisermos uma reação química diferente, misturamos ingredientes diferentes em outro frasco. Por toda parte há barreiras de vidro que mantêm as substâncias puras separadas umas das outras em frascos e potes e mantêm as combinações reagentes separadas umas das outras em tubos de ensaio, frascos ou béqueres.

A célula viva também é um grande laboratório químico e possui seu rico sortimento de substâncias químicas. Estas, porém, não são mantidas separadas, cada qual em um frasco ou pote nas prateleiras. Ficam todas juntas, misturadas. É como se um vândalo, um vilão maléfico da química, entrasse no laboratório, pegasse todos os recipientes das prateleiras e, com anárquica despreocupação, despejasse tudo num grande caldeirão. Isso seria terrível? Bem, seria se todas as substâncias reagissem juntas, em todas as combinações possíveis. Mas isso não ocorre. Ou, se ocorre, a velocidade em que as

substâncias juntas reagem é tão baixa que na prática não há reação nenhuma. Exceto — e eis o x da questão — se uma enzima estiver presente. Não há necessidade de frascos e potes para manter as substâncias separadas porque, para todos os efeitos, as substâncias juntadas não reagirão mesmo, a menos que estejam na presença da enzima certa. O equivalente a manter as substâncias químicas fechadas em frascos até que desejemos misturar um par específico, A e B, digamos, é misturar todas as centenas de substâncias em uma grande poção de bruxa, mas fornecer apenas a enzima certa para catalisar a reação entre A e B e nenhuma outra combinação. Na verdade, a metáfora do vândalo despejador de frascos vai longe demais. As células, na realidade, possuem uma infraestrutura de membranas entre as quais, e dentro das quais, ocorrem reações químicas. Em certo grau, essas membranas desempenham o papel das divisões de vidro entre os tubos de ensaio e os frascos.

O que desejo mostrar nessa seção do capítulo é que "a enzima certa" é "certa" graças, em grande medida, à sua forma física (e isso é importante, pois a forma física é determinada por genes, e em última análise são os genes que têm suas variações favorecidas ou desfavorecidas pela seleção natural). Uma profusão de moléculas vagueia, serpenteia e rodopia na sopa que banha o interior de uma célula. Uma molécula da substância A poderia adorar reagir com uma molécula da substância B, mas só se acontecesse de as duas colidirem quando estivessem viradas

exatamente na direção certa em relação uma à outra. Isso — e este é um fato crucial — raramente ocorre, a menos que a enzima certa intervenha. A forma exata da enzima, aquela na qual ela se dobra como um colar magnético, deixa-a crivada de cavidades e reentrâncias que têm, cada qual, uma forma precisa. Cada enzima possui um chamado "sítio ativo" que consiste, geralmente, em uma reentrância ou bolsão específico, cuja forma e propriedades químicas conferem à enzima sua especificidade. A palavra "reentrância" não expressa adequadamente a especificidade, a precisão desse mecanismo. Talvez uma comparação melhor seja a de um soquete elétrico. Em uma "grande conspiração de plugues", na expressão de meu colega, o zoólogo John Krebs, os países adotam convenções irritantemente arbitrárias para os plugues e soquetes. Plugues britânicos não servem em tomadas americanas, nem nas francesas e assim por diante. Os sítios ativos na superfície das moléculas de proteína são soquetes nos quais apenas determinadas moléculas servem. Mas enquanto a grande conspiração de plugues envolve apenas meia dúzia de formas separadas no mundo todo (o que já basta para estorvar continuamente o viajante), os diferentes tipos de soquetes das enzimas são muito mais numerosos.

Imagine uma enzima específica que catalise a combinação química de duas moléculas, P e Q, para produzir o composto PQ. Metade do "soquete" do lítio ativo é exatamente certa para que uma molécula do tipo P se encaixe nela, como uma

peça de quebra-cabeça. A outra metade do mesmo soquete tem uma forma igualmente precisa para que uma molécula de Q se encaixe ali — voada exatamente do modo certo para combinar-se quimicamente com a molécula P que já se encontra lá. Compartilhando uma reentrância e firmemente seguras no ângulo exato em relação uma à outra pela molécula de enzima casamenteira, P e Q unem-se. O novo composto, PQ, se desprende então na sopa, deixando a reentrância ativa da molécula de enzima livre para reunir outra dupla de P e Q. Uma célula pode ser abarrotada de moléculas de enzima idênticas, todas trabalhando como robôs numa montadora de automóveis, produzindo PQ no equivalente celular das quantidades industriais. Se pusermos uma enzima diferente na mesma célula, ela produzirá um composto diferente, talvez PR, QS OU YZ. O produto final é diferente, embora as matérias-primas disponíveis sejam as mesmas. Outros tipos de enzima funcionam não construindo novos compostos, mas decompondo compostos já existentes. Algumas dessas enzimas atuam na digestão de alimentos, e também são exploradas em detergentes "biodegradáveis". Mas como este capítulo trata da construção de embriões, aqui estamos interessados, sobretudo, nas enzimas construtoras, as intermediárias na síntese de novos compostos químicos.

Agora você talvez tenha imaginado um problema. Está muito bem falar em encaixes de quebra-cabeça e soquetes, sítios altamente específicos capazes de acelerar em 1 trilhão de vezes

determinada reação química. Mas não parece bom demais para ser verdade? Como é que moléculas de enzima da forma exatamente necessária evoluem a partir de inícios menos perfeitos? Qual a probabilidade de que um soquete, que adquiriu seu formato de maneira aleatória, tenha justamente a forma certa e as propriedades químicas certas para arranjar um casamento entre duas moléculas, P e Q, refinando o encontro das duas até o ângulo exato? Não muito grande, se você pensar em um "quebra-cabeça concluído" — ou mesmo se pensar em uma "grande conspiração de plugues". É preciso raciocionar, em vez disso, com base em um "gradiente suave de melhora". Como é muito comum ocorrer quando nos defrontamos com o enigma de como coisas complexas e improváveis surgem na evolução, é uma falácia supor que a perfeição final vista hoje sempre foi assim. Moléculas de enzima plenamente moldadas e altamente evoluídas conseguem acelerar em 1 trilhão de vezes as reações que elas catalisam, e fazem isso porque têm a forma primorosamente exata para tal. Mas não é preciso uma aceleração de 1 trilhão de vezes para ser favorecido pela seleção natural. Um milhão de vezes já serve muito bem! Mil vezes também. E mesmo dez ou duas vezes já bastariam para que a seleção natural atuasse adequadamente. Existe um gradiente suave de melhora no desempenho de uma enzima, começando por uma quase total ausência de reentrâncias, passando por uma reentrância toscamente formada e chegando a um soquete

com a forma e a assinatura química exatas. "Gradiente" significa que cada passo é uma melhora perceptível, por menor que seja, em relação à anterior. E "perceptível", para a seleção natural, pode significar uma melhora menor que o mínimo necessário para que nós a notássemos.
Viu como funciona? Que elegância! Uma célula é uma versátil fábrica química, capaz de produzir imensas quantidades de uma grande variedade de substâncias distintas, sendo a escolha feita de acordo com as enzimas que estão presentes. E como é que essa escolha se faz? Com base no gene que é ativado. Assim como a célula é um barril cheio de substâncias químicas, apenas uma minoria das quais reagem entre si, também cada núcleo celular contém o genoma inteiro, porém com apenas uma minoria de genes ativados. Quando um gene é ativado, digamos, em uma célula do pâncreas, sua sequência de letras codificadoras determina diretamente a sequência de aminoácidos em uma proteína; e a sequência de aminoácidos determina (lembra-se da imagem do colar de ímãs?) a forma na qual a proteína se dobra; e a forma na qual a proteína se dobra determina os soquetes de formas precisas que casam substâncias à deriva na célula. Toda célula, com raríssimas exceções, como as hemácias, corpúsculos vermelhos do sangue que não têm núcleo, contém os genes para produzir todas as enzimas. Mas em qualquer dada célula, apenas alguns genes estarão ativados em um dado momento. Por exemplo, nas células da tireóide, os genes que produzem as enzimas certas para

catalisar a fabricação de hormônio da tireóide são ativados. E isso se dá, correspondentemente, com cada tipo cie célula. Finalmente, as reações químicas que acontecem numa célula determinam o formato dessa célula, o modo como ela se comporta e como ela participa em interações em estilo origami com outras células. Assim, todo o curso do desenvolvimento embriônico é controlado, através de uma intricada sequência de eventos, por genes. São genes que determinam as sequências de aminoácidos, que por sua vez determinam as estruturas terciárias das proteínas, as quais determinam as formas tipo soquete dos sítios ativos, que determinam a química celular, que determina o comportamento "de estorninho" das células no desenvolvimento embriônico. Portanto, diferenças em genes podem, no extremo iniciador dessa complexa cadeia de eventos, causar diferenças no modo como os embriões se desenvolvem e, portanto, diferenças na forma e no comportamento dos adultos. O êxito desses adultos em sobreviver e se reproduzir influencia a sobrevivência, no reservatório gênico, daqueles genes que fizeram diferença para o sucesso ou o fracasso. E isso é seleção natural.

A embriologia parece complicada — e é mesmo —, mas é fácil entender o ponto importante: estamos lidando o tempo todo com processos locais de auto-montagem. Uma questão separada, considerando que (quase) todas as células contêm todos os genes, é como se decide quais genes são ativados em cada tipo de célula. Devo agora dar uma breve explicação sobre esse problema.

VERME ELEGANTE

O meio químico da célula é quem determina se um dado gene, em uma dada célula, em um dado momento, é ou não ativado. Isso geralmente ocorre com a mediação de uma cascata de outros genes interruptores ou controladores, conhecidos como switch genes ou controller genes. As células da tireóide são muito diferentes das células musculares e assim por diante, muito embora seus genes sejam os mesmos. Tudo bem, você pode dizer, isso é fácil de entender assim que o desenvolvimento do embrião está em andamento e os diferentes tipos de tecido, como a tireóide e os músculos, já existem. Mas cada embrião começa como uma única célula. Células da tireóide e dos músculos, células do fígado e dos ossos, do pâncreas e da pele, todas descendem de um único óvulo fecundado, através de uma árvore de parentesco que se ramifica. Trata-se de uma árvore de parentesco celular que se originou no momento da concepção, e não tem nenhuma relação com a árvore evolucionária que remonta a milhões de anos e que vive aparecendo em outros capítulos. Mostrarei a você, para exemplificar, a árvore de parentesco completa de todas as 558 células de uma larva recém-eclodida do verme nematodo Caenorhabditis elegans (atente para cada detalhe deste diagrama). A propósito: não sei o que esse minúsculo verme fez para merecer o nome de espécie elegans, mas posso imaginar uma boa razão para que ele o merecesse

retrospectivamente. Sei que nem todos os meus leitores apreciam minhas digressões, mas o estudo do Caenorhabditis elegans é um triunfo tão colossal da ciência que eles não conseguirão me impedir.

O Caenorhabditis elegans foi escolhido nos anos 1960 como um animal experimental ideal por Sydney Brenner, biólogo sul-africano formidavelmente brilhante. Brenner havia concluído recentemente, junto com Francis Crick e outros em Cambridge, seu trabalho de decifrar o código genético, e estava à procura de algum outro grande problema para resolver. Sua inspirada escolha, bem como seu pioneiro estudo sobre a genética e a anatomia desse verme, ensejou a formação de toda uma comunidade de pesquisadores do Caenorhabditis que hoje tem milhares de membros. É só um pouquinho de exagero dizer que agora sabemos tudo sobre o Caenorhabditis elegansl Conhecemos todo o seu genoma. Sabemos exatamente onde cada uma das suas 558 células (na larva; na forma hermafrodita do adulto são 959, sem contar as células reprodutivas) situam-se no corpo, e conhecemos a "história familiar pote" exata de cada uma de suas células, através do desenvolvimento embriônico. Sabemos sobre um grande número de genes mutantes que produzem vermes anormais e sabemos exatamente onde a mutação atua no corpo e a história celular exata de como a anormalidade se desenvolve. Esse animalzinho é conhecido do princípio ao fim, de dentro para fora, da cabeça à cauda e em todos os

pontos intermediários, conhecido sem faltar nada. Brenner foi tardiamente reconhecido, laureado com o prêmio Nobel de Fisiologia em 2002, e uma espécie aparentada foi nomeada em sua honra, Caenorhabditis brenneri. Sua coluna regular na revista Current Biology, sob o pseudônimo "Uncle Syd", é um modelo de escrita espirituosa, inteligente e irreverente — tão elegante quanto o esforço mundial para estudar o C. elegans que ele inspirou. Mas eu bem que gostaria que os biólogos moleculares conversassem com alguns zoólogos (como o próprio Brenner) e aprendessem a não se referir ao Caenorhabditis como "o" nematodo, ou mesmo "o" verme, como se não existissem outros.

Obviamente não se pode ler os nomes dos tipos de célula ao pé do diagrama (seriam necessárias sete páginas para imprimir tudo legivelmente), mas eles dizem coisas como "faringe", "músculo intestinal", "músculo do corpo", "músculo do esfíncter", "gânglio do anel", "gânglio lombar". As células de todos esses tipos são primas umas das outras: primas em virtude de sua descendência no período de vida do verme em que se encontram. Por exemplo, estou olhando para uma célula muscular específica do corpo chamada Mspappppa, que é irmã de outra célula muscular do corpo, prima-irmã de outras duas células musculares do corpo, prima em segundo grau de duas outras células musculares do corpo, prima em terceiro grau de seis células da faringe, prima em quarto grau de dezessete células da faringe... e assim por diante. Não é assombroso podermos usar palavras como "prima em segundo grau",

com a máxima precisão e certeza, para nos referir a células nomeadas e repetidamente identificáveis do corpo de um animal? O número de "gerações" de células que separam os tecidos do óvulo original não é imensamente grande. Afinal, existem apenas 558 células no corpo, e teoricamente podemos ter 1024 (2 elevado à décima potência) em dez gerações de divisões celulares. O número de gerações de células no caso das células humanas seria muito maior. Ainda assim, poderíamos, teoricamente, traçar uma árvore de parentesco semelhante para cada uma entre as cerca de I trilhão de células do nosso corpo (em contraste com as 558 de uma larva fêmea de C. elegans), reconstituindo a descendência de cada uma até a célula-ovo fecundada. Nos mamíferos, porém, não é possível identificar células específicas, repetidamente nomeadas. Em nós, o mais acertado é falar em populações estatísticas de células, cujos detalhes diferem de pessoa para pessoa.

Espero que minha eufórica digressão sobre a elegância do estudo do Caenorhabidtis não nos tenha desviado demais da minha explicação sobre como os tipos de célula mudam de forma e característica conforme se ramificam e se afastam umas das outras na árvore de parentesco embriônico. No ponto de ramificação entre um clone que está destinado a tornar-se células da faringe e um clone "primo" que se destina a ser células do gânglio do anel, tem de haver algo que distinga essas células, pois do contrário como elas saberiam ativar genes diferentes? A resposta é

que, quando o mais recente ancestral comum dos dois clones dividiu-se, as duas metades da célula antes da divisão eram diferentes. Assim, quando a célula se dividiu, as duas células-filhas, embora idênticas em seus genes (cada célula-filha recebe todo um complemento de genes), não eram idênticas nas substâncias químicas circundantes. E isso significou que não foram ativados os mesmos genes — o que mudou o destino de suas descendentes. O mesmo princípio aplica-se em toda a embriologia, inclusive no próprio início. A chave da diferenciação, em todos os animais, é a divisão celular assimétrica.

Sir John Sulston e seus colegas reconstituíram as origens de cada uma das células do corpo do verme até chegar a uma entre seis células-fundadoras — poderíamos chamá-las de células "matriarcas" — chamadas de AB, MS, E, D, C e P4. Quando batizaram as células, usaram uma elegante notação que resumia a história de cada uma. Cada nome de célula começa com o nome de uma das seis células-fundadoras, aquela da qual ela descendia. Depois disso, o nome é uma série de letras, as iniciais da direção da divisão celular que a originou: anterior, posterior, dorsal, ventral, left (esquerda), right (direita). Por exemplo, Ca e Cp são as duas filhas da matriarca C, respectivamente a anterior e a posterior. Note que cada célula não tem mais do que duas filhas (uma das quais pode morrer). Estou agora olhando para uma célula muscular específica, cujo nome, Cappppv, relata sucintamente sua história: C teve uma filha anterior, que teve uma filha posterior,

que teve uma filha posterior, que teve uma filha posterior, que teve uma filha posterior, que teve uma filha ventral, que é a célula muscular em questão. Cada célula do corpo é denotada por uma série comparável de letras encabeçada por uma das seis células-fundadoras. ABprpapppap, para dar outro exemplo, é uma célula nervosa situada no cordão nervoso ventral que percorre longitudinalmente o verme. Nem preciso dizer que não temos necessidade de entrar em detalhes. A beleza disso está em que cada célula do corpo tem um nome desse tipo, que descreve totalmente sua história durante a embriologia. Cada uma das dez divisões celulares que originaram ABprpapppap e cada uma das outras células foi uma divisão assimétrica com o potencial para que genes diferentes fossem ativados em cada uma das duas células-filhas. E em todos os animais esse é o princípio pelo qual os tecidos se diferenciam, embora todas as suas células possuam os mesmos genes. A maioria dos animais, evidentemente, possui muito mais células do que as 558 do Caenorhabditis, e seu desenvolvimento embriônico é, na maioria dos casos, menos rigidamente determinado. Em particular, como sir John Sulston alertou-me, e como eu já mencionei brevemente, em um mamífero as "árvores de parentesco" de nossas células diferem em cada indivíduo, ao passo que no Caenorhabditis elas são quase idênticas (exceto em indivíduos mutantes). Mesmo assim, o princípio permanece igual. Em qualquer animal, as células diferem umas das outras em diferentes partes do corpo, embora sejam

geneticamente idênticas, em razão de sua história de divisão celular assimétrica durante o breve curso de desenvolvimento embriônico.

Vejamos a conclusão de todo o assunto. Não existe um plano global de desenvolvimento, nenhum gabarito, nenhuma planta arquitetônica, nenhum arquiteto. O desenvolvimento do embrião e, em última análise, o do adulto, realiza-se graças a regras locais implementadas por células, que interagem com outras células em âmbito local. O que ocorre no interior das células, analogamente, é regido por regras locais que se aplicam a moléculas, em especial moléculas de proteína, dentro das células e nas membranas celulares, interagindo com outras moléculas afins. Novamente as regras são locais, locais, locais. Ninguém, ao ler a sequência de letras no DNA de um óvulo fecundado, poderia predizer a forma que o animal assumirá ao crescer. O único modo de descobri-la é esperar que o ovo se desenvolva e ver no que ele se transformará. Nenhum computador poderia descobrir isso, a menos que fosse programado para simular o próprio processo biológico natural, e nesse caso você poderia dispensar a versão eletrônica e usar o embrião em desenvolvimento como seu computador. Esse modo de gerar estruturas grandes e complexas puramente pela execução de regras locais é drasticamente distinto do modo de fazer as coisas baseado em um gabarito. Se o DNA fosse uma espécie de gabarito linearizado, seria um exercício relativamente trivial programar um computador para ler as letras e desenhar o animal. Mas não

seria nada fácil o animal ter evoluído — na verdade, poderia ser impossível.

E agora, para que este capítulo sobre embriões não termine como uma mera digressão num livro sobre evolução, devo retornar ao sincero dilema da mulher que questionou Haldane. Uma vez que genes controlam processos de desenvolvimento embriônico e não a forma adulta, e dado que a seleção natural — como Deus — não constrói coisas minúsculas, sendo a embriologia uuem faz isso, como é que a seleção natural atua sobre os animais para moldar-lhes o corpo e o comportamento? Em outras palavras, como é que a seleção natural atua sobre os embriões, reequipando-os de modo a torná-los cada vez mais proficientes em construir corpos bem-sucedidos, com asas, nadadeiras, folhas ou carapaças, ferrões, tentáculos ou o que quer que seja necessário para sobreviver?

A seleção natural é a sobrevivência diferencial, no reservatório gênico, de genes bem-sucedidos em vez de genes alternativos, menos bem-sucedidos. A seleção natural não escolhe os genes diretamente. Ela escolhe seus representantes, os corpos de indivíduos; e esses indivíduos são escolhidos — de modo óbvio, automático e sem intervenção deliberada — por sua capacidade de sobreviver e reproduzir-se gerando cópias desses mesmos genes. A sobrevivência de um gene é intimamente ligada à sobrevivência dos corpos que ele ajuda a construir, pois ele existe dentro dos corpos e morre com eles. Qualquer dado gene pode esperar encontrar a si mesmo, na forma de

cópias, no interior de um grande número de corpos, tanto simultaneamente, em uma população de indivíduos contemporâneos, como sucessivamente, à medida que uma geração dá lugar a outra. Portanto, estatisticamente, um gene que, em média, tende a ter um bom efeito sobre as perspectivas de sobrevivência dos corpos nos quais ele se encontra tenderá a aumentar sua frequência no reservatório gênico. Assim, em média, os genes que encontramos em um reservatório gênico tenderão a ser aqueles que são bons em construir corpos. Este capítulo explicou os procedimentos pelos quais os genes constroem corpos.

A interlocutora de Haldane achava impossível que a seleção natural fosse capaz de criar, em 1 bilhão de anos, digamos, uma receita genética para construir uma pessoa como ela. Acho plausível, embora obviamente nem eu nem ninguém saiba explicar os detalhes de como isso aconteceu. A razão da plausibilidade é precisamente tudo ser feito de acordo com regras locais. Em qualquer ato de seleção natural, a mutação que é selecionada teve — em numerosas células e em numerosos indivíduos paralelamente — um efeito muito simples sobre a forma na qual uma cadeia de proteínas contorce-se espontaneamente. Isso, por sua vez, através de ação catalisadora, acelera, digamos, determinada reação química em todas as células nas quais o gene é ativado. Isso muda, talvez, a taxa de crescimento do primórdio embrionário da mandíbula. E isso tem efeitos consequentes sobre a forma de toda a face, talvez

encurtando o focinho e construindo um perfil mais humano e menos "simiesco". Pois bem: as pressões da seleção natural que favorecem ou desfavorecem o gene podem ser tão complexas quanto você imaginar. Podem envolver seleção sexual, talvez uma escolha estética de ordem superior por potenciais parceiros sexuais. Ou a mudança na forma da mandíbula pode ter um efeito sutil na capacidade do animal para quebrar nozes ou lutar com rivais. Alguma combinação tremendamente elaborada de pressões seletivas conflitantes e conciliatórias entre si em atordoante complexidade pode influenciar o êxito estatístico desse gene específico conforme ele se propaga no reservatório gênico. Mas o gene não sabe coisa alguma sobre isso. A única coisa que ele está fazendo, em diferentes corpos e em sucessivas gerações, é reconstruir uma reentrância cuidadosamente esculpida numa molécula de proteína. O resto da história decorre espontaneamente, em cascatas ramificantes de consequências locais das quais, por fim, emerge um corpo inteiro.

Ainda mais complexa do que as pressões seletivas nos meios ecológico, sexual e social dos animais é a fantasmagórica rede de influências que atua tanto no interior das células em desenvolvimento como entre essas células: influências de genes sobre proteínas, de genes sobre genes, de proteínas sobre a expressão de genes, de proteínas sobre proteínas; membranas, gradientes químicos, trilhos de guia físicos e químicos em embriões, hormônios e outros mediadores de ação

a distância, células rotuladas procurando outras com rótulos idênticos ou complementares. Ninguém entende o quadro inteiro, e ninguém precisa entendê-lo para aceitar a primorosa plausibilidade da seleção natural. A seleção natural favorece a sobrevivência no reservatório gênico de mutações genéticas responsáveis por produzir mudanças cruciais em embriões. O quadro completo emerge como consequência de centenas de milhares de pequenas interações locais, cada qual compreensível em princípio (embora na prática possa ser difícil ou demorado demais decifrá-las), por qualquer pessoa com paciência suficiente para examiná-la. O todo pode ser desnorteante e misterioso na prática, mas em princípio não há mistério, nem na própria embriologia nem na história evolucionária pela qual os genes controladores ganham proeminência no reservatório gênico. As complicações acumularam-se gradualmente ao longo do tempo evolucionário: cada passo foi apenas um pouquinho diferente do anterior, e cada passo foi dado mediante uma mudança pequena e sutil em uma regra local existente. Quando temos um número suficiente de pequenas entidades — células, moléculas de proteína, membranas —, cada qual em seu próprio nível obedecendo a regras locais e influenciando outras, a consequência final é impressionante. Se genes sobrevivem ou fracassam em consequência de sua influência sobre essas entidades locais e seu comportamento, a seleção natural de genes bem-sucedidos — e o surgimento cie seus produtos

bem-sucedidos — decorrerá inevitavelmente. A mulher que questionou Haldane estava errada. Não é, em princípio, difícil produzir uma pessoa como ela.
E, como observou Haldane, bastam nove meses.

9. A arca dos continentes

Imagine um mundo sem ilhas.
Os biólogos muitas vezes usam "ilha" para designar algo que não é um pedaço de terra cercado de água. Do ponto de vista de um peixe de água doce, um lago é uma ilha: uma ilha de água habitável cercada de terra inóspita. Do ponto de vista de um besouro alpino, incapaz de viver abaixo de certa altitude, cada pico de monte é uma ilha, com vales quase intransponíveis entre um pico e outro. Existem minúsculos vermes nematodos (parentes do elegante Caenorhabditis) que vivem no interior de folhas (até 10 mil deles em uma única folha fortemente infectada), penetrando nelas através dos estômatos, que são as microscópicas passagens pelas quais a folha absorve gás carbônico e libera oxigênio. Para um verme nematodo que habita o interior de uma folha como o Aphelencoides, uma única dedaleira é uma ilha. Para um piolho, uma cabeça ou virilha humana pode ser uma ilha. Num deserto deve haver uma profusão de animais e plantas que consideram um oásis uma fresca e verdejante ilha de habitabilidade cercada por um hostil mar de areia. E já que estamos redefinindo palavras baseados no ponto de vista de um animal, como

um arquipélago é um conjunto de ilhas, suponho que um peixe de água doce poderia definir arquipélago como um conjunto de lagos, por exemplo, os lagos ao longo do vale do Rift, na África. Uma marmota alpina poderia definir uma cadeia de picos montanhosos separados por vales como um arquipélago. Um inseto que habita o interior de folhas poderia considerar uma avenida arborizada um arquipélago. Uma mosca-pica-boi poderia definir um rebanho como um arquipélago.
Agora que já redefinimos a palavra "ilha" (o sábado foi feito para o homem, não o homem para o sábado), voltemos à minha abertura. Imagine um mundo sem ilhas.

Ele comprara um grande mapa representando o mar
Sem o menor vestígio de terra:
E a tripulação adorou ao descobrir que era
Um mapa que todos podiam interpretar.

Não iremos tão longe quanto Bellman, o dono do mapa no poema de Lewis Carroll, mas imaginemos que toda a terra firme fosse reunida em um imenso continente no meio de um mar sem outros acidentes geográficos. Não há ilhas perto da costa, nem lagos ou cordilheiras em terra: nada para quebrar a monótona, uniforme vastidão. Em um mundo assim, um animal pode ir facilmente de uma parte a qualquer outra, limitado apenas pela distância, jamais tolhido por barreiras inóspitas. Esse não é um mundo favorável à evolução. A vida na Terra seria uma tremenda chatice se não

houvesse ilhas, e quero iniciar este capítulo explicando por quê.

COMO NASCEM AS ESPÉCIES

Cada espécie é prima de todas as demais. Quaisquer duas espécies descendem de uma espécie ancestral, a qual se dividiu em duas. Por exemplo, o ancestral comum dos humanos e periquitos-australianos viveu há cerca de 310 milhões de anos. A espécie ancestral dividiu-se em duas, e as duas linhagens seguiram caminhos separados pelo resto da história. Escolhi humanos e periquitos-australianos para dar um exemplo bem marcante, mas essa mesma espécie é ancestral comum de todos os mamíferos, de um lado da divisão inicial, e de todos os répteis (zoológicamente falando, as aves são répteis, como vimos no capítulo 6) do outro lado. Na improvável eventualidade de ser encontrado um fóssil dessa espécie ancestral, ele precisaria de um nome. Digamos que fosse chamado de Protamnio darwinii. Desconhecemos os detalhes sobre ele, e os detalhes não importam nesta argumentação, mas não erraríamos muito se o imaginássemos como uma criatura escarrapachada parecida com um lagarto, correndo com passinhos curtos atrás de insetos. Agora, eis a parte importante. Quando o Protamnio darwinii dividiu-se em duas subpopulações, os respectivos representantes de cada uma seriam iguais aos da outra e poderiam tranquilamente intercruzar-se; mas um grupo estava destinado a originar os mamíferos, e o

outro, as aves (e dinossauros, cobras e crocodilos). Essas duas subpopulações de Protamnio darwinii estavam prestes a divergir uma da outra, no decorrer de um tempo muito longo e de um modo muito significativo. Mas não poderiam divergir se continuassem a intercruzar-se. Os dois reservatórios gênicos continuamente inundariam um ao outro de genes. Com isso, qualquer tendência a divergir seria cortada pela raiz antes de começar, afogada pelo afluxo de genes da outra população.

O que realmente aconteceu nessa épica separação em dois caminhos ninguém sabe. Aconteceu há muito tempo, e não temos ideia de onde foi. Mas a teoria evolucionária moderna reconstituiria confiantemente algo como a história a seguir. As duas subpopulações de Protamnio darwinii, não se sabe por quê, acabaram por separar-se, muito provavelmente por alguma barreira geográfica como uma faixa de mar que separa duas ilhas ou que separa uma ilha de um continente. Poderia ter sido uma cadeia montanhosa que separasse dois vales, ou um rio que separasse duas florestas: duas "ilhas" no sentido geral que defini. O que importa é que as duas populações ficaram isoladas uma da outra por tempo suficiente para que, quando o tempo e o acaso por fim as reunissem, elas descobrissem que haviam divergido tanto que não podiam mais intercruzar-se. Quanto tempo é "tempo suficiente"? Bem, se elas estivessem sujeitas a pressões seletivas fortes e contrastantes, poderiam ser apenas alguns séculos, ou até menos. Por exemplo, uma ilha

poderia não ter um predador voraz como o que perseguia a população do continente. Ou a população da ilha poderia ter mudado sua dieta, de insetívora para vegetariana, como os lagartos do Adriático mencionados no capítulo 5. Repetindo: não temos como conhecer os detalhes de como o Protamnio darwinii ramificou-se, e não precisamos conhecer. As evidências dos animais modernos dão-nos todas as razões para pensar que algo nas linhas dessa história que acabei de contar foi o que ocorreu no passado, em cada uma das divergências entre os descendentes de qualquer animal e qualquer outro.

Mesmo se as condições dos dois lados da barreira forem idênticas, dois reservatórios gênicos da mesma espécie geograficamente separados acabarão por distanciar-se gradativamente a ponto de não mais poderem intercruzar-se se o isolamento geográfico por fim deixar de existir. As mudanças aleatórias nos dois reservatórios gênicos se acumularão gradualmente até o ponto no qual, se um macho e uma fêmea dos lados separados se encontrarem, seus genomas serão diferentes demais para combinar-se e produzir descendentes férteis. Seja apenas pela deriva aleatória, seja com a ajuda de seleção natural diferencial, assim que os dois reservatórios gênicos tiverem atingido o ponto no qual não precisem mais de isolamento geográfico para manter-se geneticamente separados, passamos a chamá-los de espécies distintas. Em nosso caso hipotético, talvez a população da ilha mudasse mais que a do continente, graças à ausência de

predadores e à mudança para uma dieta mais vegetariana. Assim, um zoólogo da época poderia ter reconhecido que a população da ilha tornara-se uma nova espécie e dado a ela um novo nome, por exemplo, Protamio saurops, enquanto o nome antigo, Protamnio darwinii, poderia ter continuado a servir para a população continental. Nesse cenário hipotético, talvez fosse a população da ilha que estivesse destinada a originar os répteis sauropsídeos (são todos os que hoje chamamos de répteis, mais as aves), enquanto a população continental originaria finalmente os mamíferos.

Devo frisar, ainda outra vez, que os detalhes dessa minha história são pura licção. Poderia igualmente ter sido a população do continente a originária dos mamíferos. A "ilha" poderia ter sido um oásis cercado de deserto, em vez de terra cercada de água. E obviamente não temos a menor idéia de onde, na superfície do planeta, essa grande divisão ocorreu — de fato, o mapa do mundo teria então uma aparência tão diferente que essa questão praticamente não significa nada. O que não é ficção é a principal lição: a maioria dos milhões de divergências evolucionárias, se não todas, que povoaram a Terra com sua luxuriante diversidade começou com uma separação fortuita de duas subpopulações de uma espécie) frequentemente, embora nem sempre, de dois lados de uma barreira geográfica como um mar, um rio, uma cordilheira ou um vale deserto. Os biólogos usam o termo "especiação" para se referir à divisão de uma espécie em duas espécies-filhas. A maioria dos biólogos dirá que o isolamento

geográfico é o prelúdio normal para a especiação, embora alguns, principalmente os entomologistas, possam acrescentar que a "especiação simpátrica" também pode ser importante. A especiação simpátrica também requer algum tipo de separação acidental inicial para dar a partida no processo, mas essa separação é um pouco diferente da separação geográfica. Poderia ser uma mudança local no microclima. Não entrarei em detalhes. Direi apenas que a especiação simpátrica parece ser especialmente importante para insetos. No entanto, tendo em vista a simplicidade, no resto deste capítulo suporei que a separação inicial que precede a especiação é normalmente geográfica. Você decerto se lembra de que, no capítulo 2, quando discorri sobre a reprodução canina, comparei o efeito das regras impostas pelos criadores de cães de raça à criação de "ilhas virtuais".

"PODERÍAMOS MESMO SUPOR..."

Então como é que duas populações de uma espécie vão parar em lados opostos de uma barreira geográfica? Às vezes a própria barreira surge de repente. Um terremoto abre um desfiladeiro intransponível ou muda o curso de um rio, e uma espécie que fora uma única população reprodutiva acaba dividida em duas. Mais comumente, a barreira esteve presente o tempo todo e foram os próprios animais que a transpuseram, em um evento raro, anômalo. É preciso que seja raro, do contrário não serve para

que o obstáculo seja considerado uma barreira. Antes de 4 de outubro de 1995 não havia membros da espécie Iguana iguana na ilha caribenha de Anguilla. Nessa data, uma população desses grandes lagartos apareceu subitamente do lado leste da ilha. Por sorte, foram avistados ao chegar. Estavam agarrados a uma jangada formada por pedaços de madeira e árvores tombadas, algumas com mais de cinco metros de comprimento, que haviam se desprendido de uma ilha vizinha, provavelmente Guadalupe, a cerca de 250 quilômetros dali. No mês anterior, dois furacões, o Luís, em 4-5 de setembro, e o Marilyn, duas semanas depois, haviam varrido a área e poderiam facilmente ter arrancado as árvores, junto com os iguanas, que têm o hábito de subir em árvores. A nova população de Anguilla continuava a prosperar em 1998, e segundo me informou a dra. Eilen Censky, que dirigiu o estudo original, continua florescendo inclusive hoje, e melhor, ao que parece, do que a outra espécie de iguana que vivia em Anguilla antes da chegada desses novos habitantes.

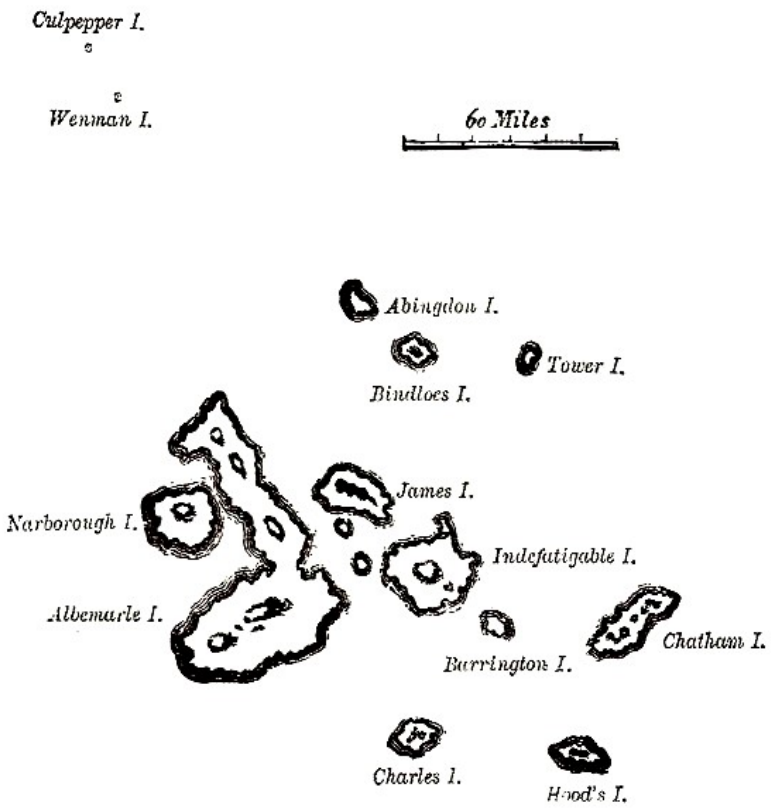
O essencial para nossa argumentação nesses eventos anômalos de dispersão é que eles devem ser comuns o bastante para ocasionar a especiação, mas não comuns demais. Se fossem demasiado usuais — se, por exemplo, todo ano iguanas chegassem flutuando de Guadalupe a Anguilla —, a população de Anguilla, em incipiente especiação, sofreria uma contínua submersão genética (genetic swamp) com as frequentes entradas em seu reservatório gênico, e desse

modo não poderia divergir da população de Guadalupe. A propósito, não se equivoque com meu uso de frases como "devem ser comuns o bastante". Ele poderia ser erroneamente interpretado como significando que algum tipo de medida foi tomada para assegurar que as ilhas estivessem na distância certa para facilitar a especiação! Obviamente isso põe o carro na frente dos bois. O que ocorre, na verdade, é que onde por acaso houver ilhas (ilhas no sentido amplo, como sempre), separadas por uma distância apropriada que facilite a especiação, ali ocorrerá especiação. E a distância apropriada dependerá de quanto é fácil para os animais em questão viajar para lá. Os 250 quilômetros que separam Guadalupe de Anguilla seriam brincadeira de criança para uma ave voadora forte como o petrel. Mas até mesmo uma travessia marítima de algumas centenas de metros poderia ser difícil para ensejar uma nova espécie, por exemplo, de rã ou de inseto sem asas.

O arquipélago das Galápagos está separado do continente sul-americano por aproximadamente 960 quilômetros de mar aberto, quase quatro vezes a distância que os iguanas viajaram até Anguilla em sua jangada desarraigada. As ilhas são todas vulcânicas e jovens pelos padrões geológicos. Nenhuma delas jamais esteve ligada ao continente. Toda a fauna e toda a flora dessas ilhas têm de ter chegado lá vindo de fora, presumivelmente do continente sul-americano. Embora mesmo aves pequenas possam voar essa distância, 960 quilômetros é suficiente para fazer

de uma travessia de tentilhões um evento raro. Mas não tão raro que não pudesse ocorrer, e existem tentilhões nas Galápagos cujos ancestrais, em algum momento da história, presumivelmente foram arrastados para as ilhas, talvez por uma tempestade inesperada. Esses tentilhões são todos de um tipo reconhecivelmente sul-americano, embora as espécies em si sejam exclusivas das ilhas Galápagos. Observe o mapa de Darwin, que adotei por razões sentimentais e porque ele indicou as ilhas usando os imponentes nomes ingleses de sonoridade naval em vez dos nomes modernos em espanhol. Note que a escala de 60 milhas (96,5 quilômetros) é aproximadamente um décimo da distância que um animal teria de percorrer para chegar ao arquipélago vindo do continente. As ilhas distam apenas algumas dezenas de quilômetros umas das outras, mas centenas de quilômetros do continente. Que esplêndida receita para a especiação! Seria simples demais dizer que a chance de um animal ser arrastado acidentalmente pelo vento ou trazido numa balsa através de uma barreira marítima até uma ilha é inversamente proporcional à largura da barreira. Não obstante, claramente haverá algum tipo de correlação inversa entre a distância e a probabilidade de completar a travessia. A diferença entre a distância média entre as ilhas, algumas dezenas de quilômetros, e a distância de 960 quilômetros até o continente é tão grande que seria de prever que o arquipélago fosse uma usina de especiação. E de fato ele é, como Darwin por fim se deu conta, apesar de isso ocorrer só depois

de ele ter deixado as ilhas para nunca mais voltar. Essa disparidade entre as dezenas de quilômetros da distância entre as ilhas no arquipélago e as centenas de quilômetros da distância entre o arquipélago e o continente levou os evolucionistas a prever que as ilhas poderiam abrigar espécies bem semelhantes entre si, porém mais diferentes de suas equivalentes no continente. E isso é exatamente o que encontramos. O próprio Darwin expressou essa idéia muito bem, em uma linguagem assombrosamente próxima da evolucionária, mesmo antes de ter formulado adequadamente sua teoria. Grafei em itálico a frase principal, e a repetirei ao longo deste capítulo em diferentes contextos.



Mapa de Darwin das ilhas Galápagos, com os nomes ingleses hoje raramente usados

Quem vê essa gradação e diversidade de estruturas em um pequeno e intimamente aparentado grupo de aves poderia mesmo supor que da original pobreza de aves neste arquipélago uma espécie destacou-se e modificou-se para diferentes fins. De modo análogo se poderia conjecturar que uma ave, originalmente um busardo, foi aqui induzida a exercer o ofício de comer carniça encontrada entre os Polybori do continente americano.

A última frase é uma referência ao falcão-das-galápagos, Buteo galapagoensis, outra espécie encontrada exclusivamente nas Galápagos, mas que lembra um pouco espécies continentais, especialmente o Buteo swainsoni, que anualmente migra entre as Américas do Norte e do Sul e poderia ter sido arrastado para longe de sua rota em uma ou duas ocasiões anômalas. Atualmente devemos nos referir ao falcão-das-galápagos e ao cormorão-das-galápagos, que não voa, como "endêmicos" das ilhas, ou seja, encontrados unicamente lá. O próprio Darwin, que ainda não admitira plenamente a evolução, usou uma frase então em voga, "criações aborígines", que significava que Deus criara-os ali e em nenhum outro lugar. Darwin usou a mesma expressão para os jabutis gigantes, na época abundantes em todas aquelas ilhas, e também para duas espécies de iguana, o iguana-terrestre-das-galápagos e o iguana-marinho-das-galápagos. Os iguanas-marinhos são criaturas notáveis, muito diferentes de qualquer ser encontrado em outras partes do mundo. Eles mergulham até o fundo do mar e comem algas marinhas, que parecem ser seu único alimento. São nadadores graciosos, mas, na franca opinião de Darwin, nada belos de se olhar:

É uma criatura horrorosa, de uma cor preta suja, estúpida e de movimentos morosos. O comprimento usual de um animal completamente crescido é cerca de uma jarda, mas há alguns que chegam a quatro pés, [...] têm a cauda achatada lateralmente, e as quatro patas parcialmente

palmadas. [...] Na água esse lagarto nada com perfeito desembaraço e rapidez, com movimentos coleantes do corpo e da cauda achatada — as pernas ficam imóveis e dobradas rente aos lados do corpo.

Como os iguanas-marinhos são exímios nadadores, seria de supor que eles, e não os iguanas-terrestres, teriam feito a longa travessia desde o continente e posteriormente passado por uma especiação, no arquipélago, originando o iguana-terrestre. Mas quase certamente não foi o que ocorreu. O iguana-terrestre-das-galápagos não difere muito dos iguanas que ainda vivem no continente, ao passo que os iguanas-marinhos são exclusivos do arquipélago das Galápagos. Nunca foi encontrado outro lagarto com os mesmos hábitos marinhos em qualquer outra parte do mundo. Hoje estamos certos de que foi o iguana-terrestre quem originalmente veio do continente sul-americano, talvez flutuando em madeira à deriva, como os iguanas modernos que aportaram em Anguilla vindo de Guadalupe. Nas Galápagos, subsequentemente, eles se especiaram e originaram o iguana-marinho. E quase sem dúvida foi o isolamento geográfico determinado pelo padrão de espaçamento das ilhas que possibilitou a separação inicial entre os iguanas-terrestres ancestrais e os iguanas-marinhos decorrentes da especiação posteriormente ocorrida. Presumivelmente, alguns iguanas-terrestres foram por acidente levados à deriva a uma ilha até então sem iguanas e lá adotaram um hábito marinho,

livres de contaminação por genes provenientes dos iguanas-terrestres da ilha de origem. Muito mais tarde eles se disseminaram por outras ilhas, por fim retornando àquela de onde provinham seus ancestrais terrestres. Só que agora não podiam mais cruzar com eles, e seus hábitos marinhos herdados geneticamente estavam a salvo de contaminação por genes de iguana-terrestre.
Em exemplos e mais exemplos, Darwin observou a mesma coisa. Os animais e as plantas de cada ilha nas Galápagos são, em grande medida, endêmicos do arquipélago ("criações aborígines") e também, em grande medida, no que diz respeito a certos detalhes eles são exclusivos de sua respectiva ilha. Nessa questão, Darwin impressionou-se especialmente com as plantas:

Temos, pois, o assombroso fato de que, na ilha James [Santiago], das 38 plantas galapagoenses, ou das que não são encontradas em nenhuma outra parle do mundo, trinta restringem-se exclusivamente a essa ilha; e na ilha Albemarle [Isabela], das 26 plantas galapagoenses aborígines, 22 restringem-se a essa única ilha, ou seja, atualmente se tem notícia de que apenas quatro delas crescem em outras ilhas do arquipélago; e o mesmo se dá [...] com as plantas das ilhas Chatham [San Cristobal] e Charles [Floreana]."

Ele observou essa mesma característica na distribuição pelas ilhas dos mimídeos chamados

em inglês de mockingbirds [literalmente: pássaros arremedadores]:

Minha atenção, ao comparar os numerosos espécimes reunidos que eu e outros a bordo havíamos abatido, foi primeiro totalmente despertada pelos tordos arremedadores, quando, pasmo, descobri que todos os da ilha Charles pertenciam a uma espécie (Mimus trifasciatus); todos da ilha Albemarle à M. parvulus; e todos das ilhas James e Chatham (entre as quais situam-se duas outras ilhas, como se fossem pontos de ligação) pertenciam à M. melanotis.

É assim no mundo todo. A fauna e a flora de uma dada região são exatamente o que deveríamos esperar se, usando aqui as palavras de Darwin sobre os tentilhões que hoje têm o nome dele, "uma espécie se destacasse e se modificasse para diferentes fins".
O vice-governador das ilhas Galápagos, sr. Lawson, assanhou a curiosidade de Darwin comentando que:

Os jabutis diferiam conforme as ilhas de onde provinham, e que ele próprio era capaz de dizer com certeza de qual ilha qualquer um deles era trazido. Não prestei suficiente atenção a essa afirmação por algum tempo, e já tinha misturado parcialmente as coleções de duas das ilhas. Nunca sonhei que ilhas, separadas por cinqüenta ou sessenta milhas e a maioria delas à vista uma da outra, formadas precisamente das mesmas

rochas, submetidas a clima muito semelhante, elevadas a alturas quase iguais, fossem diferentemente ocupadas.

Todos os jabutis-gigantes-das-galápagos são parecidos com uma espécie continental específica de jabutis, Geochelone chilensis, que é menor do que qualquer um deles. Em algum ponto durante os poucos milhões de anos de existência das ilhas, um ou alguns desses jabutis do continente inadvertidamente caíram no mar e foram balseados até o arquipélago. Como poderiam ter sobrevivido à longa e sem dúvida árdua travessia? Certamente a maioria deles não sobreviveu. Mas uma fêmea bastaria para viabilizar o processo. E os jabutis são espantosamente bem equipados para sobreviver à travessia.
Os primeiros baleeiros levaram milhares de jabutis-gigantes das ilhas Galápagos em seus navios para servir de alimento. Para manter a carne fresca, os jabutis só eram abatidos quando iriam ser consumidos, mas enquanto aguardavam o abate não lhes davam comida nem água. Simplesmente eram deixados de barriga para cima, às vezes vários deles empilhados, para que não pudessem andar. Conto essa história não para chocar (essa indizível crueldade causa-me horror), mas para defender um argumento. Jabutis podem sobreviver por semanas sem alimento nem água, tempo mais do que suficiente para que fossem arrastados pela Corrente de Humboldt da América do Sul até o arquipélago das Galápagos. E jabutis flutuam.

Tendo atingido a primeira ilha nas Galápagos e lá se multiplicado, os jabutis, com comparativa facilidade — e novamente por acidente —, foram atingindo as demais ilhas, percorrendo as distâncias muito menores no resto do arquipélago pelos mesmos meios. E fizeram o que fazem muitos animais ao chegar a uma ilha: evoluíram e se tornaram maiores. Esse é o fenômeno, notado já há muito tempo, do gigantismo das ilhas (é desnorteante a existência de outro fenômeno igualmente bem conhecido em ilhas: o nanismo). Se os jabutis houvessem seguido o padrão dos famosos tentilhões de Darwin, em cada ilha uma espécie diferente teria evoluído. E depois de subsequentes derivas acidentais de ilha em ilha, eles teriam se tornado incapazes de intercruzamento (essa, lembre-se, é a definição de uma espécie distinta) e teriam sido livres para adquirir pela evolução um modo de vida diferente, não contaminado por "submersão genética".

Poderíamos dizer que os incompatíveis hábitos e preferências de acasalamento das diferentes espécies constituem uma espécie de substituto genético para o isolamento geográfico em ilhas separadas. Embora as espécies agora ocupem um mesmo espaço geográfico, encontram-se isoladas em "ilhas" de exclusividade reprodutiva. Com isso, podem divergir ainda mais. Três espécies de tentilhão-da-terra — de bico grande, de bico médio e de bico pequeno — originalmente divergiram em ilhas separadas; hoje as três coexistem na maioria das ilhas Galápagos. Nunca cruzam entre si, e cada uma tem sua dieta de sementes exclusiva.

Os jabutis fizeram algo semelhante, adquirindo pela evolução diferentes formas de carapaça nas diferentes ilhas. As espécies das ilhas maiores têm carapaças mais altas. As das ilhas menores têm carapaças em forma de sela, com uma abertura dianteira dotada de uma dobra alta para a cabeça. A razão disso parece ser que as ilhas maiores são úmidas o suficiente para que nelas cresça grama, da qual se alimentam os jabutis que lá habitam. As ilhas menores são em geral demasiado secas para ter grama, e nelas os jabutis comem cactos. A carapaça com a dobra alta permite que o pescoço se erga e alcance os cactos, os quais, em uma corrida armamentista evolucionária, crescem cada vez mais para o alto para livrar-se dos jabutis devoradores.

A história dos jabutis acrescenta ao modelo dos tentilhões a complicação de que, para os jabutis, vulcões são ilhas dentro de ilhas. Vulcões proporcionam oásis altos, frescos, úmidos e verdes cercados a baixa altitude por ressequidos campos de lava que, para um jabuti-gigante comedor de grama, constituem desertos inóspitos. Cada uma das ilhas menores tem um único vulcão grande e sua única espécie (ou subespécie) de jabuti-gigante (exceto as poucas ilhas que não têm nenhum). A vasta ilha de Isabela ("Albemarle" para Darwin) consiste em uma fieira de cinco vulcões de grande porte, e cada vulcão tem sua própria espécie (ou subespécie) de jabuti. Na prática, Isabela é um arquipélago em um arquipélago: um sistema de ilhas em uma ilha. E o princípio das ilhas sentido geográfico literal, preparando o

cenário para a evolução de ilhas no metafórico sentido genético de espécies, nunca foi demonstrado mais elegantemente do que nesse arquipélago da abençoada juventude de Darwin.
É difícil encontrar ilhas muito mais isoladas do que Sta. Helena, um único vulcão no Atlântico sul a cerca de 2 mil quilômetros da costa da África. Existem lá aproximadamente cem plantas endêmicas (o jovem Darwin as chamaria de "criações aborígines", e o Darwin mais velho diria que evoluíram na ilha). Entre essas, há (ou havia, pois algumas estão extintas) árvores florestais pertencentes à família das margaridas.
Essas árvores assemelham-se, em hábito, a árvores do continente africano com as quais não têm parentesco próximo. As plantas continentais com as quais elas têm parentesco são ervas e arbustos pequenos. Com certeza o que ocorreu foi que algumas sementes de ervas ou arbustos de pequeno porte acidentalmente foram levadas através dos quase 2 mil quilômetros da África a Sta. Helena, fixaram-se na ilha e, como o nicho das árvores florestais estava vago, essas plantas pequenas foram adquirindo pela evolução troncos cada vez maiores e mais lenhosos até se tornarem árvores propriamente ditas. Margaridas com hábitos arbóreos semelhantes evoluíram independentemente no arquipélago das Galápagos. Esse padrão é encontrado em ilhas do mundo todo.

Árvores florestais em Sta. Helena

Cada um dos grandes lagos africanos possui sua fauna de peixes exclusiva, na qual predomina o grupo chamado de ciclídeos. As faunas de ciclídeos dos lagos Vitória, Tanganica e Malawi, cada uma composta de várias centenas de espécies, são totalmente distintas uma da outra. Evidentemente passaram por evolução separada nos três lagos, o que torna ainda mais fascinante o fato de que elas convergiram para a mesma gama de "ofícios" nessas três extensões de água. Ao que parece, em cada lago entraram, não se sabe como, uma ou duas espécies fundadoras, vindas talvez de rios. E em cada lago essas fundadoras especiaram-se e tornaram a se especiar, povoando as águas com as centenas de espécies hoje encontradas. Como, dentro de um mesmo lago, as futuras espécies desfrutaram de um isolamento geográfico inicial que permitiu a separação entre elas?

Quando introduzi o tema das ilhas, expliquei que do ponto de vista de um peixe um lago cercado de terra é uma ilha. Um fato um pouco menos óbvio é que, mesmo uma ilha no sentido convencional de

terra cercada de água pode ser uma "ilha" para um peixe, especialmente se ele for do tipo que vive apenas em águas rasas. No mar, pense em um peixe de recife de coral, que nunca se aventura em águas profundas. Do ponto de vista dele, a orla rasa de uma ilha de coral é uma "ilha", e a Grande Barreira de Coral é um arquipélago. Coisa parecida pode ocorrer mesmo em um lago. Dentro de um lago, especialmente se ele for grande, um afloramento rochoso pode ser uma "ilha" para um peixe cujos hábitos restringem-no a águas rasas. Foi quase certamente assim que pelo menos parte dos ciclídeos dos grandes lagos africanos obteve seu isolamento inicial. A maioria dos indivíduos viu-se confinada a águas rasas ao redor das ilhas, ou a enseadas e estreitos. Isso proporcionou um isolamento parcial em relação a outros bolsões de águas rasas, ligados por ocasionais travessias pelas águas profundas entre eles, formando o equivalente aquático de um "arquipélago" nos moldes das Galápagos.

Há bons indícios (por exemplo, testemunhas de sondagem de sedimentos) ile que o nível do lago Malawi (chamava-se lago Nyasa quando passei minhas primeiras férias de balde e pazinha em suas praias arenosas) sobe e desce drasticamente ao longo dos séculos e de que chegou a um ponto baixo no século xvin: mais de cem metros abaixo do nível atual. Muitas de suas ilhas não foram ilhas nesse período, e sim morros na terra ao redor do lago então menor. Quando o nível do lago subiu, nos séculos XIX e XX, os morros tornaram-se ilhas, cadeias de morros tornaram-se arquipélagos, e o

processo de especiação decolou entre os ciclídeos que vivem em águas rasas, conhecidos no local como Mbuna. "Quase todo afloramento rochoso e quase toda ilha têm uma fauna única de Mbunas, de inúmeras formas coloridas e espécies. Dado que muitas dessas ilhas e afloramentos rochosos foram terra seca nos últimos duzentos-trezentos anos, o estabelecimento das faunas ocorreu nesse período."

Os ciclídeos são muito bons em especiações rápidas desse tipo. Os lagos Malawi e Tanganica são antigos, mas o Vitória é muito recente. A bacia do lago formou-se há apenas 400 mil anos aproximadamente, e desde então secou várias vezes, a mais recente há 17 mil anos. Isso leva a crer que sua fauna endêmica de aproximadamente 450 espécies de ciclídeos evoluiu toda ela em uma escala temporal de séculos, e não ao longo dos milhões de anos que costumamos associar à divergência evolucionária em uma escala grande como essa. Os ciclídeos dos lagos africanos nos dão um eloquente exemplo do que a evolução pode fazer em um breve espaço de tempo. Eles quase se qualificam para ser incluídos no capítulo sobre a evolução "bem diante dos nossos olhos".

Os bosques e florestas da Austrália são dominados por árvores de um único gênero, *Eucalyptus*, com mais de setecentas espécies ocupando um enorme conjunto de nichos. Mais uma vez, a frase de Darwin sobre os tentilhões pode ser cooptada: "poderíamos quase supor que uma espécie de eucalipto destacou-se e modificou-se para diferentes fins". E, paralelamente, um exemplo

ainda mais famoso é a fauna mamífera da Austrália. Existem na Austrália, ou existiram até extinções recentes, causadas possivelmente pela chegada de povos aborígines, os equivalentes ecológicos dos lobos, gatos, coelhos, toupeiras, musaranhos, leões, esquilos-voadores e muitos outros animais. Só que eles são marsupiais, bem diferentes dos lobos, gatos, coelhos, toupeiras, musaranhos, leões e esquilos-voadores chamados de mamíferos placentários que são nossos conhecidos do resto do mundo. Os equivalentes australianos são todos descendentes de apenas algumas, ou mesmo de uma, espécie marsupial ancestral, que se "destacou e se modificou para diferentes fins". Essa bela fauna marsupial também produziu criaturas para as quais é difícil encontrar equivalente fora da Austrália. As numerosas espécies de canguru ocupam sobretudo nichos semelhantes aos dos antílopes (ou nichos de macacos ou criaturas semelhantes aos lêmures, no caso dos cangurus arborícolas), só que, em vez de galopar, pulam. Variam do grande canguru-vermelho (e alguns ainda maiores, extintos, entre eles um temível carnívoro saltador) aos pequenos wallabies e cangurus arborícolas. Já houve marsupiais enormes, do tamanho de rinocerontes: os diprotodontes, parentes dos modernos vombates, só que com três metros de comprimento, 1,80 m de altura nos ombros e duas toneladas de peso. No próximo capítulo voltarei aos marsupiais australianos.

É quase ridículo mencionar, mas infelizmente preciso fazê-lo por causa dos mais de 40% da

população estadunidense que, como lastimei no capítulo 1, aceitam a Bíblia literalmente: pensam que a distribuição geográfica dos animais deve ser como se todos houvessem se dispersado a partir da Arca de Noé. Não deveria haver algum tipo de lei de diversidade decrescente das espécies conforme nos afastamos de um epicentro — talvez o monte Ararat? Nem preciso dizer que não é isso que vemos.

Por que todos esses marsupiais, tão variados como o minúsculo camundongo marsupial, os gigantescos cangurus e diprotodontes, os coalas e os bilbys, por que todos esses marsupiais, mas absolutamente nenhum placentário, migrariam em massa do monte Ararat para a Austrália? Que rota teriam percorrido? E por que nem um só membro de sua desgarrada caravana fez uma pausa no caminho e se fixou — na Índia, talvez, ou na China, ou em algum reduto ao longo da Grande Rota da Seda? Por que toda a ordem Edentata (todas as vinte espécies de tatu, incluindo o extinto tatu-gigante, todas as seis espécies de preguiça, entre elas as extintas preguiças-gigantes, e todas as quatro espécies de tamanduá) marcharia resolutamente para a América do Sul, sem deixar vestígios de sua passagem, sem deixar couros, pelos ou couraças de colonizadores pelo caminho? Por que a eles se juntaria toda a infraordem dos roedores caviomorfos, incluindo os porquinhos-da-índia, as cutias, pacas, marás, capivaras, chinchilas e muitos outros, um grupo numeroso de roedores caracteristicamente sul-americanos, não encontrados em nenhuma outra parte do planeta?

Por que toda uma subordem de macacos, os platirrinos, viriam parar na América do Sul e em mais nenhum outro lugar? Não deveriam, pelo menos alguns deles, ter se juntado ao resto dos macacos, os catarrinos, na Ásia ou África? E não deveria pelo menos uma espécie de catarrino ser encontrada no Novo Mundo, junto com os platirrinos? Por que todos os pinguins fariam uma longa caminhada bamboleante até a Antártida sem que pelo menos um houvesse ido para o igualmente acolhedor Ártico?

Um lêmure ancestral, também muito possivelmente apenas uma única espécie, foi parar em Madagascar. Hoje existem 37 espécies de lêmures (afora as extintas). Elas variam, em tamanho, do lêmure-rato-pigmeu (Microcebus myoxinus), menor do que um hamster, a um lêmure gigante, maior do que um gorila e parecido com um urso, extinto há bem pouco tempo. E todos eles, sem exceção, estão em Madagascar. Não existem lêmures em nenhuma outra parte do mundo, e não existem macacos em Madagascar. Como será que os 40% de negadores da história pensam que uma situação dessas se concretizou? Por acaso todas as 37 espécies vivas de lêmur e as tantas outras mortas desceram em tropa coesa pela prancha de desembarque da Arca de Noé e debandaram rumo a Madagascar, sem deixar um único desgarrado pelo caminho em toda a vastidão do continente africano?

Mais uma vez, lamento usar um marrão para bater numa uma noz tão pequenina e frágil, mas preciso fazê-lo porque mais de 40% da população

americana acredita literalmente na história da Arca de Noé. Seria muito bom se pudéssemos deixá-los de lado e prosseguir com nossa ciência, mas não podemos nos dar a esse luxo porque eles controlam conselhos diretivos das instituições de ensino, educam seus filhos em casa e não em escolas, para impedir-lhes o acesso a professores de ciência que se prezem, e entre eles incluem-se muitos membros do Congresso dos Estados Unidos, alguns governadores estaduais e até candidatos a presidente e vice-presidente da nação. Eles têm dinheiro e poder para construir instituições, universidades e até um museu onde as crianças cavalgam modelos mecânicos de dinossauros em tamanho natural — animais que, informa-se às crianças com toda seriedade, coexistiram com os humanos. E, como mostraram recentes pesquisas de opinião, a Grã-Bretanha não fica muito atrás (ou devo dizer "à frente"?), junto com uma parcela da Europa e a maior parte do mundo islâmico.

Mesmo se deixarmos de lado o monte Ararat, mesmo se evitarmos rir dos que interpretam ao pé da letra o mito da Arca de Noé, problemas semelhantes aplicam-se a qualquer teoria que apregoe a criação separada de espécies. Por que um criador todo-poderoso decidiria situar suas espécies cuidadosamente elaboradas em ilhas e continentes num padrão exatamente apropriado para sugerir, de um modo irresistível, que elas evoluíram e se dispersaram a partir do local de sua evolução? Por que ele poria lêmures em Madagascar e em mais nenhum outro lugar? Por

que poria os macacos platirrinos apenas na América do Sul, e os macacos catarrinos só na África e na Ásia? Por que não poria mamíferos na Nova Zelândia, com exceção de morcegos (que poderiam ter voado para lá)? Por que os animais em uma sucessão de ilhas são mais parecidos com os das ilhas vizinhas, e por que quase sempre se parecem — em menor grau, mas inequivocamente — com os do continente ou de uma grande ilha mais próximos? Por que esse criador poria apenas mamíferos marsupiais na Austrália, novamente com a exceção de morcegos, que poderiam voar para lá, e de animais que poderiam chegar em embarcações feitas pelo homem? O fato é que, se examinarmos cada continente e cada ilha, cada lago e cada rio, cada cume de montanha e cada vale alpino, cada floresta e cada deserto, o único modo de explicar a distribuição de animais e plantas é, mais uma vez, basear-se no que Darwin percebeu nos tentilhões das Galápagos: poderíamos mesmo "supor que da pobreza original [...] uma espécie destacou-se e modificou-se para diferentes fins".

Darwin era fascinado por ilhas, e esquadrinhou muitas delas durante a viagem do Beagle. Deduziu inclusive a surpreendente verdade sobre como se forma uma importante categoria de ilhas, as construídas por animais chamados corais. Posteriormente, ele reconheceu a importância crucial das ilhas e arquipélagos para sua teoria e fez vários experimentos para decidir questões sobre a teoria do isolamento geográfico como prelúdio da especiação (ele não usou esse termo).

Por exemplo, em vários dos experimentos ele manteve sementes na água por longos períodos e demonstrou que algumas conservavam a capacidade de germinar mesmo depois de imersas por tempo suficiente para que fossem levadas pelas águas até algum continente ou ilha vizinha. Já as ovas de rã, ele descobriu, morriam imediatamente na água do mar, e Darwin fez bom uso dessa característica para explicar um fato revelador da distribuição geográfica das rãs:

Com respeito à ausência de ordens inteiras em ilhas oceânicas, Bory St. Vincent salientou há tempos que nunca foram encontrados batráquios (rãs, sapos, salamandras) em nenhuma das muitas ilhas de que são crivados os grandes oceanos. Dei-me ao trabalho de pôr à prova a veracidade dessa afirmação e constatei que é rigorosamente verdadeira. Entretanto, asseguraram-me que existe uma rã nas montanhas da grande ilha da Nova Zelândia; mas desconfio que essa exceção (se a informação for correta) pode ser explicada pela ação glacial. Essa ausência generalizada de rãs, sapos e salamandras em tantas ilhas oceânicas não pode ser explicada com base nas condições físicas; na verdade, ilhas parecem ser singularmente apropriadas a esses animais, pois foram introduzidas rãs em Madeira, Açores e ilhas Maurício, e elas se multiplicaram a ponto de tornar-se um problema. Porém, como esses animais e suas ovas são imediatamente mortos pela água do mar, a meu ver podemos deduzir que haveria grande dificuldade de transportá-los

numa travessia marítima, sendo essa, pois, a razão de não existirem em nenhuma ilha oceânica. Mas por que, na teoria da criação, eles não teriam sido criados ali seria muito difícil de explicar.

Darwin tinha plena noção da importância da distribuição geográfica das espécies para sua teoria da evolução. Notou que era possível dar uma explicação à maioria dos fatos se fosse suposto que os animais e as plantas evoluíram. Com base nisso, podemos prever — e de fato constatamos — a tendência, nos animais modernos, a viver no mesmo continente onde são encontrados fósseis que poderiam plausivelmente ser seus ancestrais ou aparentados com seus ancestrais. Podemos prever, e de fato constatamos, que os animais são encontrados no mesmo continente de espécies que se parecem com eles. Eis o que Darwin disse a esse respeito, dando especial atenção aos animais da América do Sul que ele conhecia tão bem:

O naturalista que viaja, por exemplo, do norte para o sul nunca deixa de notar a maneira como sucessivos grupos de seres, especificamente distintos e no entanto claramente aparentados, dão lugar uns aos outros. Ele ouve de pássaros de tipos distintos, mas proximamente aparentados, notas muito semelhantes, e vê seus ninhos construídos de modos parecidos, porém não idênticos, com ovos coloridos quase da mesma maneira. As planícies próximo ao estreito de Magalhães são habitadas por uma espécie de ema

(avestruz americano), e mais ao norte, nas planícies do Prata, por outra espécie do mesmo gênero, e não por um verdadeiro avestruz ou casuar como os encontrados na África e Austrália na mesma latitude. Nessas mesmas planícies do Prata vemos a cutia e a viscacha, animais que têm quase os mesmos hábitos das nossas lebres e coelhos, porém apresentam claramente um tipo americano de estrutura. Escalamos os imponentes picos da Cordilheira e encontramos uma espécie alpina de viscacha; procuramos nas águas e não encontramos o castor ou o rato-almiscarado, e sim o ratão-do-banhado e a capivara, roedores do tipo americano.

Isso, em grande medida, é puro senso comum, e com base nesse raciocínio Darwin foi capaz de explicar um conjunto enorme de observações. No entanto, há certos fatos na distribuição geográfica de animais e plantas, assim como na distribuição de rochas, que requerem um tipo diferente de explicação, nada dependente do senso comum, e essa explicação teria espantado e fascinado Darwin se ele houvesse sabido a respeito dela.

A TERRA SE MOVEU?

Na época de Darwin, todos pensavam que o mapa do mundo fosse praticamente uma constante. Alguns dos contemporâneos de Darwin admitiam a possibilidade da existência de grandes pontes terrestres, agora submersas, para explicar as semelhanças entre as floras da América do Sul e

da África. O próprio Darwin não era um grande fã da idéia da ponte terrestre, mas sem dúvida teria exultado com as evidências modernas de que continentes inteiros movem-se na face da Terra. Essa é, de longe, a melhor explicação para certos fatos fundamentais da dispersão de plantas e animais, especialmente fósseis. Por exemplo, há semelhanças entre os fósseis da América do Sul, África, Antártida, Madagascar, Índia e Austrália, que hoje explicamos mencionando o grande continente meridional de Gondwana, onde, em um passado remoto, todas essas regiões modernas estavam unidas. Mais uma vez, o nosso detetive que chega posteriormente à cena é forçado a concluir que a evolução é um fato.

A teoria da "deriva continental", como antes era chamada, foi defendida pela primeira vez pelo climatologista alemão Alfred Wegener (1880-1930). Ele não foi o primeiro a olhar um mapa do mundo e notar que em muitos casos a forma de um continente ou ilha pode "encaixar-se" na linha costeira do outro lado, como se as duas massas de terra fossem pedaços de um quebra-cabeça, mesmo quando o litoral oposto está bem distante. Não estou falando de pequenos exemplos localizados, como o encaixe perfeito da ilha de Wight na costa de Hampshire, quase como se não existisse o estreito de Solent. O que Wegener e seus predecessores notaram é que algo nessas mesmas linhas parecia valer para lodo o contorno dos lados opostos dos gigantescos continentes africano e americano. A costa brasileira parece ter sido recortada sob medida para encaixar-se sob a

protuberância da África Ocidental, enquanto a parte setentrional da protuberância da África encaixa-se bem na costa norte-americana da Flórida ao Canadá. E não apenas as formas encaixam-se aproximadamente: Wegener ressaltou também formações geológicas a norte e a sul do lado oriental da América do Sul que correspondem a partes do lado ocidental da África. Um pouco menos claramente, a costa oeste de Madagascar encaixa-se razoavelmente bem na costa leste da África (não na parte da costa sul-africana que hoje é oposta a ela, mas na costa da Tanzânia e do Quênia, mais ao norte), enquanto a longa linha reta do lado oriental de Madagascar é comparável à borda reta rio oeste da Índia. Wegener também salientou que os fósseis muito antigos encontrados na África e na América do Sul eram mais semelhantes do que se esperaria se o mapa do mundo sempre houvesse sido como é hoje. Como se explica isso, dada a vasta separação pelo oceano Atlântico? Teriam os dois continentes sido outrora muito mais próximos, ou mesmo ligados? Essa ideia era intrigante, mas estava à frente de seu tempo. Wegener também notou correspondências entre fósseis de Madagascar e da Índia. E existem afinidades similarmente reveladoras entre os fósseis da América do Norte e da Europa.

Essas observações levaram Wegener a apresentar sua ousada e herética hipótese da deriva dos continentes. Todos os grandes continentes do mundo, ele aventou, já foram ligados formando um gigantesco supercontinente, que ele chamou

de Pangeia. No decorrer de um imenso período do tempo geológico, ele conjecturou, a Pangeia gradualmente fragmentou-se, formando os continentes que hoje conhecemos, e estes, por sua vez, afastaram-se por uma lenta deriva até as posições que hoje ocupam — uma deriva que ainda não cessou.

Quase posso ouvir os céticos contemporâneos de Wegener se perguntando, na atual gíria das ruas, o que será que ele andara fumando. Mas hoje sabemos que ele estava certo. Ou quase certo. Por mais sagaz e imaginativo que Wegener fosse, devo deixar claro que sua hipótese sobre a deriva continental era significativamente diferente da nossa moderna teoria da tectônica de placas. Wegener supunha que os continentes singrassem pesadamente os oceanos como navios colossais, flutuando sobre um manto semilíquido do planeta. Com razão, outros cientistas erigiram fortalezas de ceticismo. Que titânicas forças poderiam propelir um objeto do tamanho da América do Sul ou da África por milhares de quilômetros? Explicarei como a moderna teoria da tectônica de placas difere da teoria de Wegener antes de apresentar as evidências que a corroboram.

Charge inspirada na teoria da "deriva continental" de Wegener

Na teoria da tectônica de placas, toda a superfície da Terra, inclusive o fundo dos vários oceanos, consiste em uma série de placas rochosas sobrepostas, como numa armadura de cavaleiro medieval. Os continentes que vemos são espessamentos das placas que se erguem acima da superfície do mar. A maior parte da área de cada placa está submersa. Em contraste com os continentes da interpretação de Wegener, as placas não navegam pelo mar nem se deslocam pela superfície da Terra, elas são a superfície da Terra. Não pense, como Wegener, que os continentes brincam de gangorra uns com os outros ou são puxados para longe um do outro; não é assim. Em vez disso, pense numa placa que

está continuamente sendo fabricada em uma borda, a qual vai crescendo em um impressionante processo chamado espalhamento do assoalho oceânico, o qual explicarei daqui a pouco. Em outras bordas pode ocorrer uma "subdução", ou mergulho, de uma placa sob uma placa vizinha. Ou placas vizinhas podem deslizar uma ao lado da outra. A figura na página em cores 17 mostra uma parte da Falha de San Andreas, na Califórnia, onde as bordas da placa do Pacífico e da placa norte-americana passam raspando uma pela outra. A combinação do espalhamento do assoalho oceânico com a subdução impede que haja lacunas entre as placas. Toda a superfície do planeta é coberta por placas, cada uma tipicamente desaparecendo por subdução sob uma placa vizinha de um lado, ou deslizando perto de outra placa, enquanto cresce devido ao espalhamento do assoalho oceânico em outra zona.

É inspirador pensar no imenso vale de rift, que sem dúvida um dia serpenteou pelo continente de Gondwana entre a futura África e a futura América do Sul. Com certeza ele foi, de início, dotado de lagos, como o atual vale do Rift no leste da África. Posteriormente ele se encheu de água do mar conforme a América do Sul se afastava em dilacerante agonia tectônica. Imagine a visão que se oferecia a algum Cortês dinossáurico quando ele contemplava o lado oposto dos longos estreitos da "Gondwana Ocidental" que se afastava lentamente. Wegener estava certo quando supôs que a complementaridade de suas formas, como

peças de um quebra-cabeça, não era acidental. Mas errou ao imaginar os continentes como imensas jangadas, sulcando as lacunas de oceano que separavam umas das outras. América do Sul e África, junto com suas plataformas continentais, são apenas as regiões espessadas de duas placas, cujas superfícies rochosas jazem, em grande parte, submersas. As placas constituem a dura litosfera — literalmente, "esfera de rocha" — que flutua sobre a quente e semiderretida astenosfera — "esfera fraca". A astenosfera é fraca no sentido de não ser rígida e quebradiça como as placas de rocha da litosfera; ela se comporta mais ou menos como um líquido: moldável, como massa de vidraceiro ou bala puxa-puxa, embora não necessariamente derretida. Causa certa confusão o fato de que essa distinção entre duas esferas concêntricas não corresponde totalmente à mais conhecida distinção (baseada na composição química e não na força física) entre a "crosta" e o "manto".

A maioria das placas consiste em dois tipos de rocha litosférica. Nas profundezas oceânicas, o fundo é coberto por uma camada bastante uniforme de rocha ígnea muito densa, com aproximadamente dez quilômetros de espessura. A essa camada ígnea sobrepõe-se uma camada superficial de rocha sedimentar e lama. Um continente, repetindo, é a área da placa visível acima do nível do mar, a área elevada onde a placa é espessada por camadas adicionais de rocha menos densa. As partes submersas das placas são continuamente criadas nas margens —

a margem oriental, no caso da placa sul-americana, e a margem ocidental, no da placa africana. Essas duas margens compõem a dorsal mesoatlântica, que serpenteia pelo meio do Atlântico da Islândia (a qual, aliás, é a única parte substancial da dorsal que chega à superfície) até o extremo sul.

Dorsais submarinas semelhantes percorrem outras placas em outras partes do mundo (ver páginas em cores 18-19). Essas dorsais submersas funcionam como longas fontes (na lenta escala temporal da geologia), de onde flui rocha derretida no já mencionado processo do espalhamento do assoalho oceânico. A dorsal que se espalha no meio do Atlântico parece empurrar a placa africana para leste, e a sul-americana, para oeste. Sugeriu-se, como comparação, a imagem de um par de escrivaninhas de tampo corrediço abrindo seus tampos em direções divergentes. A imagem é boa, contanto que sempre tenhamos em mente que tudo está ocorrendo numa escala temporal lenta demais para ser vista por olhos humanos. Com efeito, a velocidade à qual a América do Sul e a África se distanciam foi memoravelmente comparada — tão memoravelmente que quase se tornou cediça — à velocidade do crescimento das unhas. O fato de elas hoje se encontrarem a milhares de quilômetros uma da outra é mais um testemunho da vasta e não bíblica idade da Terra, um testemunho comparável às evidências fornecidas pela radioatividade que vimos no capítulo 4.

Usei acima a expressão "parece empurrar", e devo

logo me retratar. É tentador pensar que essas "escrivaninhas de tampo corrediço" empurram suas respectivas placas continentais na direção do fluxo de rocha derretida. Isso não é realista; a escala está totalmente errada. As placas tectônicas são imensas demais para ser empurradas por forças vulcânicas que afloram ao longo de uma dorsal meso-oceânica. Equivaleria a um girino, nadando, tentar puxar um petroleiro. Mas agora, eis o ponto fundamental do argumento. A astenosfera, em sua capacidade de semilíquido, tem correntes de convecção que se estendem por toda a sua superfície, sob toda a área das placas. Em qualquer dada região, a astenosfera está se movendo lentamente numa mesma direção e circulando de volta na direção oposta embaixo, nas suas camadas mais profundas. A camada superior da astenosfera sob a placa sul-americana, por exemplo, move-se inexoravelmente para oeste. E, enquanto é inconcebível que um "tampo corrediço" possa ter força para empurrar toda a placa sul-americana, não é inconcebível que uma corrente de convecção, avançando lentamente numa direção inalterável sob toda a superfície inferior de uma placa, possa carregar junto o seu fardo continental "flutuante". Agora não há comparação com um girino. Um petroleiro na corrente de Humboldt, com seus motores desligados, realmente seria levado pela corrente.

Essa é, resumidamente, a teoria moderna da tectónica de placas. Retornarei agora às evidências de que a teoria é verdadeira. Na realidade, como é normal para os fatos científicos

estabelecidos, existem numerosos tipos de evidências, mas discorrerei apenas sobre as do tipo que ganha de todas em elegância. Trata-se do testemunho dado pelas idades das rochas, e em especial das faixas magnéticas que elas contêm. É quase bom demais para ser verdade, uma ilustração perfeita para minha comparação com o "detetive que chega depois à cena do crime" e é levado inexoravelmente a uma única conclusão. Temos até algo que lembra muito as impressões digitais: gigantescas impressões digitais magnéticas nas rochas.

Acompanharemos nosso detetive metafórico numa travessia do Atlântico Sul em um submarino feito de encomenda, capaz de suportar as tremendas pressões das profundezas oceânicas. O submarino é equipado para extrair amostras de rocha por perfuração, através dos sedimentos superficiais do fundo do mar, chegando às rochas vulcânicas da litosfera; a bordo ele possui um laboratório para datar radiometricamente as amostras de rocha (ver capítulo 4). O detetive determina um curso a leste, partindo do porto brasileiro de Maceió, 10 graus de latitude sul do equador. Depois de viajar cerca de cinquenta quilômetros pelas águas rasas da plataforma continental (que, para os atuais propósitos, contam como parte da América do Sul), abrimos as escotilhas de alta pressão e mergulha¬mos (mergulhar é dizer pouco!) nas profundezas onde a única luz normalmente vista é um ocasional lampejo da luminescência esverdeada que emana das grotescas criaturas habitantes desse mundo estranho.

Quando chegamos ao fundo a quase 6 mil metros (3 mil braças), extraímos um testemunho de sondagem da litosfera vulcânica: uma amostra obtida por perfuração com sonda de rotação. Nosso laboratório de datação radioativa põe-se a trabalhar e informa uma idade do Cretáceo Inferior, aproximadamente 140 milhões de anos. O submarino então prossegue sua viagem em sentido leste ao longo do Paralelo 10, extraindo amostras de rocha em intervalos frequentes. A idade de cada amostra é cuidadosamente medida, e o detetive examina as datas em busca de um padrão. Ele não precisa procurar muito. Nem o dr. Watson deixaria de notar. Conforme nos deslocamos para o leste pelas grandes planícies do fundo do mar, as rochas claramente vão mostrando idades cada vez mais recentes, sempre mais recentes. Quando já percorremos aproximadamente 730 quilômetros da nossa jornada, as amostras de rocha são do Cretáceo Superior, com cerca de 65 milhões de anos, a mesma época da extinção dos dinossauros. A tendência a encontrar rochas cada vez mais recentes prossegue conforme nos aproximamos do meio do Atlântico e os holofotes do submarino começam a iluminar o sopé de uma colossal cordilheira submarina. É a dorsal mesoatlântica (ver páginas coloridas 18-9), e nosso submarino deve agora começar a subir por ela. Lá vamos nós cordilheira acima, extraindo amostras de rocha e ainda constatando que as rochas são cada vez mais novas. Quando chegamos aos picos da dorsal, as rochas são tão recentes que até

poderiam ter acabado de manar como lava de vulcão. E, de fato, em grande medida é isso que aconteceu. A ilha de Ascensão é uma parte da dorsal mesoatlântica que aflorou do mar em consequência de uma recente série de erupções — recentes, quero dizer, talvez 6 milhões de anos atrás; isso é recente pelos padrões das amostras de rocha que vimos coletando em nossa jornada submarina.

Prosseguimos agora em direção à África, pelo outro lado da dorsal, descendo às abissais planícies no fundo do Atlântico Leste. Continuamos a extrair amostras de rocha, e — você já adivinhou! — elas agora são cada vez mais antigas à medida que seguimos rumo à África. É como uma imagem vista no espelho do padrão encontrado antes de atingirmos a dorsal mesoa¬tlântica. O detetive não tem dúvida para explicar: as duas placas estão se separando uma da outra conforme o assoalho oceânico espalha-se dos dois lados da dorsal em direções opostas. Toda nova rocha acrescentada às duas placas divergentes provém de atividade vulcânica na própria dorsal e é carregada em direções opostas em um dos dois tampos corrediços, as placas africana e sul-americana. As partes em falsa-cor nas figuras das páginas coloridas 18-9 que ilustram esse processo denotam a idade das rochas; vermelho representa as mais recentes. Repare como os perfis de idade dos dois lados da dorsal mesoatlântica correspondem primorosamente um ao outro como uma imagem no espelho.

Que história elegante! Mas ela fica ainda melhor. O detetive nota um padrão mais sutil nas amostras de rocha quando elas são analisadas no laboratório de bordo. Os testemunhos de sondagem extraídos da litosfera profunda são ligeiramente magnéticos, como agulhas de bússola. Esse é um fenômeno bem compreendido. Quando rocha derretida solidifica-se, o campo magnético da Terra imprime-se nessa rocha sob a forma de uma polarização dos finos cristais que compõem as rochas ígneas. Os cristais comportam-se como minúsculas agulhas de bússola, congeladas na direção para onde apontavam no momento em que a lava derretida solidificou-se. Pois bem. Há tempos sabemos que o polo magnético da Terra não é fixo; ele muda de lugar, provavel-mente em razão de correntes que vertem devagar na mistura de ferro e níquel derretidos no núcleo do planeta. Atualmente o norte magnético situa-se próximo à ilha Ellesmere, no norte do Canadá, mas não permanecerá nesse local. Para determinar o verdadeiro norte usando uma bússola magnética, os navegantes têm de consultar um fator de correção, e esse fator muda de ano a ano, conforme varia o campo magnético do planeta.

Se o nosso detetive registrar meticulosamente o ângulo exato em que se encontram as amostras de rocha quando ele as extrai, o campo magnético congelado em cada testemunho de sondagem lhe informará a posição do campo magnético da Terra no dia em que a lava derretida solidificou-se. E agora, a prova cabal. Acontece que, a intervalos

regulares de dezenas ou centenas de milhares de anos, o campo magnético da Terra inverte-se por completo, presumivelmente devido a grandes mudanças no núcleo de níquel/ferro derretido. O que era o norte magnético vira numa direção próxima à do verdadeiro Polo Sul, e o que era o sul magnético vira para o norte. E as rochas, obviamente, captam a posição corrente do norte magnético no dia em que, da lava emanada das profundezas do mar, se tornam rochas sólidas. Como a polarização inverte-se em espaços de algumas dezenas de milhares de anos, um magnetômetro pode detectar faixas ao longo do leito rochoso: listras nas quais os campos magnéticos das amostras de rocha apontam todos para a mesma direção, alternando-se com listras nas quais os campos magnéticos apontam todos na direção oposta. Nosso detetive pinta essas listras em preto e branco no mapa. E quando examina as listras no mapa como se fossem impressões digitais, nota um padrão inconfundível. Assim como nas listras representadas em falsa-cor denotando a idade absoluta das rochas, as listras das impressões digitais magnéticas do lado oeste da dorsal mesoatlântica são uma elegante imagem invertida das listras do lado leste. Exatamente o que se esperaria se a polaridade magnética da rocha tiver sido registrada quando a lava solidificou-se na dorsal e depois afastou-se lentamente da cordilheira, em direções opostas, a um ritmo fixo e muito lento. Elementar, meu caro Watson.

Retomando a terminologia do capítulo 1, a

transformação da hipótese de Wegener sobre a deriva continental na moderna teoria da tectônica de placas é um exemplo clássico da consolidação de uma hipótese provisória em um "teorema" universalmente aceito, isto é, um fato. Os movimentos da tectônica de placas são importantes neste capítulo porque, sem eles, não podemos compreender plenamente a distribuição dos animais e das plantas pelos continen¬tes e ilhas do mundo. Quando falei sobre a barreira geográfica inicial que separou duas espécies incipientes, aventei que um terremoto desviaria o curso de um rio. Eu também poderia ter mencionado as forças da tectônica de placas, que divididem um continente em dois e transportam os dois gigantescos fragmentos em direções opostas, junto com todos os seus passageiros animais e vegetais: a arca dos continentes.

Madagascar e a África já foram parte do grande continente meridional, Gondwana, junto com América do Sul, Antártida, índia e Austrália. Gondwana começou a fragmentar-se — muito devagar para os padrões da nossa percepção — há cerca de 165 milhões de anos. Nessa época, Madagascar, ainda ligada a índia, Austrália e Antártida na Gondwana Oriental, separou-se do leste da África. Mais ou menos na mesma época, a América do Sul afastou-se do oeste africano na outra direção. Gondwana Oriental desmembrou-se muito depois, e por fim Madagascar separou-se da índia, há aproximadamente 90 milhões de anos. Cada um dos fragmentos da velha Gondwana levou consigo sua carga de animais e plantas.

Madagascar foi uma verdadeira "arca", e a Índia, outra. É provável, por exemplo, que os ancestrais do avestruz e do moa ("pássaro-elefante") tenham se originado em Madagascar/Índia quando essas duas massas de terra ainda eram unidas. Separaram-se posteriormente. Os que permaneceram na colossal jangada chamada Madagascar evoluíram e tornaram-se moas, enquanto os ancestrais do avestruz viajaram no navio da Índia e subsequentemente, quando a Índia colidiu com a Ásia erguendo os Himalaias, foram soltos no continente asiático, encontrando depois o caminho até a África, que hoje é sua terra principal. Os moas, infelizmente, não vemos mais. Tremendamente maiores do que o maior dos avestruzes, esses gigantes de Madagascar são a origem provável do lendário "pássaro-roca" que figura na Segunda Viagem de Sinbad, o Marujo. Embora fosse grande o bastante para ser cavalgado por um homem, o moa não tinha asa, e assim não poderia ter carregado Sinbad pelos ares como conta a história.

Não só a agora solidamente estabelecida teoria da tectônica de placas permite explicar numerosos fatos da distribuição de fósseis e seres vivos, mas também fornece ainda mais evidências da extrema antiguidade da Terra. Por isso, ela deveria ser uma tremenda pedra no sapato dos criacionistas, ou pelo menos dos criacionistas da seita da "Terra jovem". Como eles lidam com ela? De um modo muito estapafúrdio." Eles não negam o deslocamento dos continentes, mas pensam que tudo ocorreu em alta velocidade muito

recentemente, na época do Dilúvio. Seria de imaginar que, como ficam manifestamente satisfeitos em descartar evidências que não lhes convenham quando se trata da imensa quantidade e variedade dos dados que atestam o fato da evolução, eles recorreriam ao mesmo expediente também diante das evidências da tectônica de placas. Mas não: curiosamente, eles aceitam como um fato que a América do Sul um dia já se encaixou perfeitamente na África. Parecem considerar as evidências disso como conclusivas, muito embora as evidências do fato da evolução sejam, na verdade, ainda mais eloquentes, e eles as neguem na maior tranquilidade. Já que, para eles, evidências não significam coisa alguma, por que será que não fazem o serviço completo negando também toda a tectônica de placas?

O livro Why evolution is true, de Jerry Coyne, apresenta magistralmente as evidências fornecidas pela distribuição geográfica (como seria de se esperar do veterano autor do mais influente livro sobre especiação recentemente publicado). Ele também aborda diretamente o tema da propensão dos criacionistas a não fazer caso das evidências quando elas não corroboram a posição que eles sabem, pelas Escrituras, que tem de ser verdadeira: "As evidências biogeográficas da evolução agora são tão poderosas que eu nunca vi um livro, artigo ou conferência criacionista tentar refutá-las. Os criacionistas simplesmente fazem de conta que as evidências não existem". Os criacionistas agem como se os fósseis fossem a única evidência da evolução. O testemunho dos

fósseis realmente é muito substancial. Carradas de fósseis foram descobertas desde o tempo de Darwin, e todas essas evidências corroboram ativamente a evolução ou são compatíveis com ela. E de modo mais revelador, como já salientei, nenhum fóssil sequer contradiz a evolução. Não obstante, por mais eloquente que seja o testemunho dos fósseis, quero ressaltar mais uma vez que ele não é o mais poderoso que temos. Mesmo se jamais houvéssemos encontrado fóssil algum, as evidências fornecidas pelos animais sobreviventes ainda assim nos impeliriam de modo avassalador à conclusão de que Darwin estava certo. O detetive que chega à cena do crime depois do evento pode reunir pistas sobreviventes que são ainda mais irrefutáveis do que os fósseis. Neste capítulo vimos que a distribuição dos animais em ilhas e continentes é exatamente a que esperaríamos se eles fossem todos primos que evoluíram de ancestrais comuns no decorrer de períodos muito longos. No capítulo seguinte compararemos animais modernos entre si, examinando a distribuição de características no reino animal, comparando em especial suas sequências no código genético, e chegaremos à mesma conclusão.

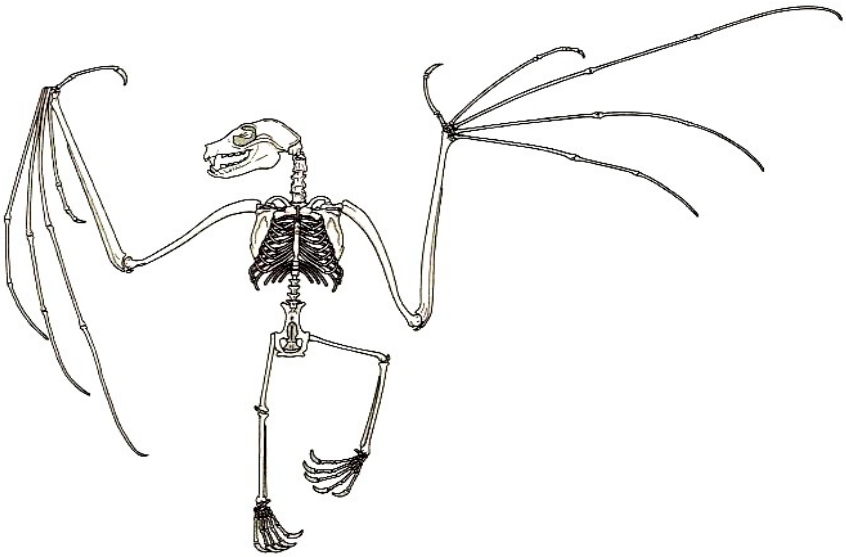
10. A Árvore de Parentesco

CADA OSSO AO SEU OSSO

Que obra magistral é o esqueleto de um mamífero! Não falo da beleza em si, embora eu ache que seja

belo. Refiro-me ao fato de podermos falar em "o" esqueleto mamífero: o fato de uma coisa tão complexa e interligada ser tão esplendidamente diferente de um mamífero para outro, em todas as suas partes, e ao mesmo tempo tão obviamente a mesma coisa em todos os mamíferos. Temos familiaridade suficiente com nosso esqueleto para dispensar sua figura, mas vejamos o esqueleto de um morcego. Não é fascinante que cada osso tenha sua contrapartida identificável no esqueleto humano? É identificável graças à ordem em que se ligam uns aos outros. Só mudam as proporções. As mãos do morcego são imensamente aumentadas (em relação ao tamanho total do animal, obviamente), mas ninguém poderia deixar de notar a correspondência entre nossos dedos e os longos ossos nas asas do morcego. A mão humana e a mão do morcego obviamente são — nenhuma pessoa mentalmente sadia poderia negar — duas versões de uma mesma coisa. O termo técnico para essa semelhança é "homología". A asa que o morcego usa para voar e a mão que usamos para segurar são "homólogas". As mãos do ancestral que humanos e morcegos têm em comum, assim como o resto do esqueleto, foram puxadas,

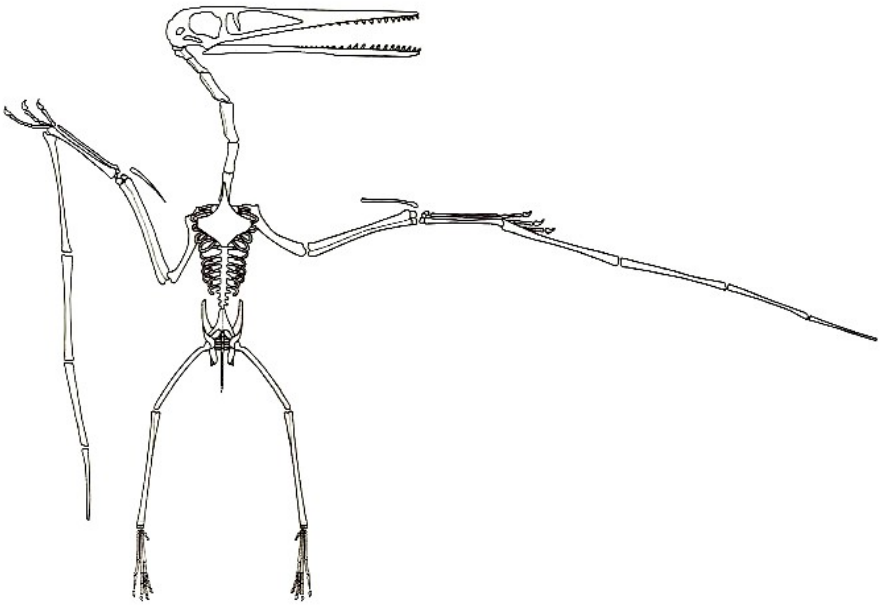
Esqueleto de morcego ou comprimidas, parte por parte, em diferentes direções e em diferentes magnitudes, no decorrer das diferentes linhas de descendentes.



Esqueleto de morcego

O mesmo se aplica, embora novamente em diferentes proporções, à asa de um pterodátilo (ele não é mamífero, mas o princípio também vale, o que é ainda mais impressionante). A membrana da asa desse pterodátilo é, em grande medida, sustentada por um único dedo, que poderíamos chamar de "mindinho". Devo confessar que, por causa da homologia, causa-me certa aflição pensar que esse quinto dedo tem de suportar tanto peso, já que o nosso dedo mínimo parece tão frágil. Isso é bobagem, evidentemente, pois para um pterodátilo o quinto dedo, longe de ser "mínimo", tem quase o mesmo comprimento do corpo, e presumivelmente deve ter dado ao animal a mesma impressão de força e solidez que o nosso braço nos dá. Mais uma vez, isso serve de ilustração ao meu argumento. O quinto dedo é modificado para sustentar a membrana da asa.

Todos os detalhes tornaram-se diferentes, mas ele ainda é, reconhecivelmente, o quinto dedo, por causa de sua relação espacial com os outros ossos do esqueleto. Esse longo e forte esteio da asa é "homólogo" ao nosso dedo mínimo. Traduzido para pterodatilês, "dedinho" é "dedão".



Esqueleto de pterodátilo

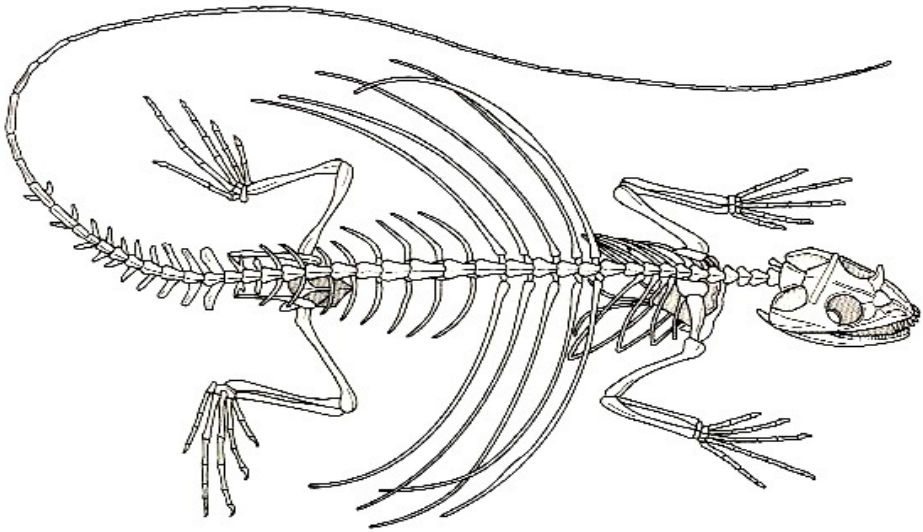
Além dos animais que realmente voam — aves, morcegos, pterossauros e insetos —, existem muitos animais que planam: um hábito que pode nos dar algumas pistas sobre as origens do verdadeiro vôo. Os planadores possuem membranas para o planeio, e elas requerem sustento do esqueleto. Mas esse sustento não precisa provir dos ossos dos dedos, como no caso das asas do morcego e do pterossauro. Os esquilos

voadores (dois grupos independentes de roedores) e os falangerídeos voadores (marsupiais australianos, de aparência quase idêntica à dos esquilos voadores, mas sem parentesco próximo) estendem uma membrana de pele situada entre os braços e pernas. Os dedos não precisam suportar individualmente muita carga, e não são aumentados. Eu, com esta minha neurose de dedo mindinho, seria mais feliz como esquilo voador do que como pterodátilo, pois tenho a sensação de que é "certo" usar os braços e pernas inteiros em um trabalho de sustentar carga.

Na página ao lado vemos o esqueleto de um animal conhecido como lagarto voador, outro elegante planador das florestas. Notamos imediatamente que são suas costelas, e não os dedos, ou braços e pernas, que se modificaram para sustentar as "asas" — as membranas de voar. Mais uma vez, a semelhança do esqueleto como um todo com os esqueletos de ou lios vertebrados é claríssima. Poderíamos examinar cada osso, um por um, e em cada caso identificar exatamente o osso correspondente no esqueleto de um humano, morcego ou pterossauro.

O colugo, também conhecido como "lêmure voador" das florestas do sudeste asiático, lembra os esquilos voadores e os falangerídeos voadores, exceto pelo fato de que a cauda, juntamente com os braços e as pernas, inclui-se na estrutura de sustentação da membrana voadora. Isso me causa estranheza, pois não consigo imaginar como seria ter cauda, apesar de nós, humanos, assim como os demais grandes primatas "sem cauda",

possuirmos uma cauda vestigial, o cóccix, escondida sob a pele. E, por sermos primatas quase sem cauda, é difícil nos imaginarmos na pele de um macaco-aranha, cuja cauda domina toda a coluna vertebral. Podemos ver na figura da página em cores 26 como essa cauda é bem mais longa até do que os já compridos braços e pernas desse animal. Como em muitos macacos do Novo Mundo (aliás, como numerosos mamíferos do Novo Mundo em geral, o que é um fato curioso e difícil de interpretar), a cauda do macaco-aranha é "preênsil", ou seja, modificada para segurar, e parece quase terminar em uma mão extra, embora não seja homóloga à mão humana e não possua dedos. Na verdade, a cauda do macaco-aranha dá a impressão de ser uma perna ou um braço adicional.

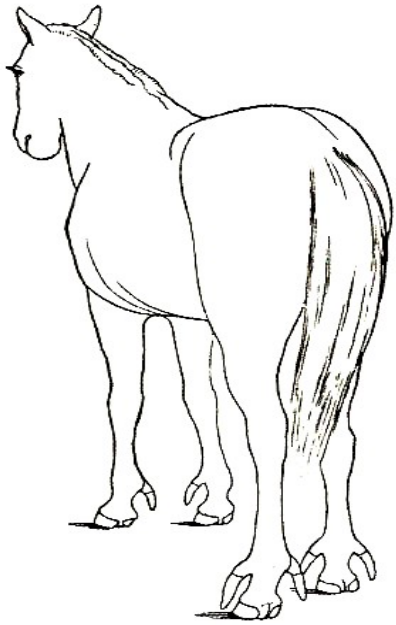


Esqueleto de "lagarto voador"

Provavelmente não preciso explicitar de novo a mensagem. O esqueleto básico é o mesmo da cauda de qualquer outro mamífero, só que modificado para executar uma tarefa diferente. Bem, a cauda em si não é exatamente igual: a do macaco-aranha possui um suprimento extra de vértebras, mas elas são, reconhecivelmente, do mesmo tipo das vértebras de qualquer outra cauda, inclusive nosso cóccix. Você consegue imaginar como se sentiria se fosse um macaco com cinco "mãos" para segurar as coisas, uma na extremidade de cada perna, uma na de cada braço e uma na da cauda, e poder se pendurar segurando-se com apenas uma delas? Eu não. Mas sei que a cauda do macaco-aranha é homóloga ao meu cóccix, assim como o imensamente longo e forte osso da asa do pterodátilo é homólogo ao meu dedo mindinho.

Eis outro fato surpreendente. O casco do cavalo é homólogo à unha do nosso dedo médio da mão (ou à unha do dedo médio do pé). O cavalo anda na ponta dos pés de verdade, ao contrário de nós quando dizemos que andamos na ponta dos pés. O cavalo perdeu quase por completo os outros dedos. Nesse animal, os homólogos dos nossos dedos indicador e anular e seus equivalentes nos membros posteriores sobrevivem como minúsculos ossos metacárpicos, ligados ao osso "canhão", e ficam invisíveis sob a pele. O osso canhão é homólogo ao nosso metacarpo médio, que está sob a pele na nossa mão (ou do metatarso, sob a pele no pé). Todo o peso do

cavalo, que pode ser muito substancial em certas raças como Shire ou Clydesdale, é sustentado pelos dedos médios das quatro patas. As homologias, por exemplo com nossos dedos médios, ou com os do morcego, são totalmente claras. Ninguém poderia duvidar delas. E, como que para reforçar ainda mais o argumento, às vezes nascem cavalos com uma anomalia: três dedos em cada perna, o do meio servindo como um "pé" de cavalo normal, e os dois laterais dotados de cascos em miniatura (veja a figura abaixo).



Cavalo polidátilo

O leitor percebe como é sensacional essa ideia de modificação quase ilimitada ao longo de imensidões de tempo, cada forma modificada

conservando vestígios inconfundíveis do original? Exulto com os litopternos, herbívoros sul-americanos extintos sem parentesco próximo com nenhum animal moderno, que são bem diferentes dos cavalos, exceto por possuírem pernas e cascos quase idênticos. Os cavalos (na América do Norte) e os litopternos (na América do Sul, que era na época uma gigantesca ilha, pois o canal do Panamá ainda estava num futuro muito distante) ganharam independentemente pela evolução a mesmíssima redução de todos os dedos exceto o médio, em cuja extremidade formou-se um casco. Presumivelmente não existem muitos modos de um mamífero herbívoro tornar-se um corredor veloz. Cavalos e litopternos encontraram com o mesmo modo — reduzir todos os dedos menos o médio — e o levaram à mesma conclusão. Vacas e antílopes toparam com outra conclusão: reduzir todos os dedos, menos dois.

As afirmações a seguir parecem paradoxais, mas pode-se ver que fazem sentido e que são importantes como observações. Os esqueletos de todos os mamíferos são idênticos, mas seus ossos individuais diferem. A resolução do paradoxo está em meu uso calculado de "esqueleto" no sentido de reunião dos ossos em uma junção ordenada de uns aos outros. Segundo essa ideia, as formas dos ossos individualmente considerados não são propriedades do "esqueleto". Nesse sentido especial, o "esqueleto" não leva em conta as formas dos ossos em si e se define apenas como a ordem em que eles se unem: "cada osso ao seu osso", nas palavras do profeta Ezequiel e, mais

vividamente, no cântico baseado nesse trecho:

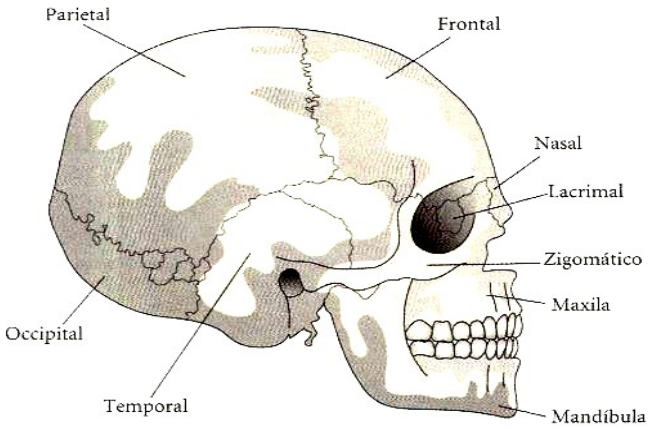
O osso do seu dedo ligado ao osso do seu pé,
O osso do seu pé ligado ao osso do seu tornozelo,
O osso do seu tornozelo ligado ao osso da sua perna,
O osso da sua perna ligado ao osso do seu joelho,
O osso do seu joelho ligado ao osso da sua coxa,
O osso da sua coxa ligado ao osso do seu quadril,
O osso do seu quadril ligado ao osso das suas costas,
O osso das suas costas ligado ao osso do seu ombro,
O osso do seu ombro ligado ao osso do seu pescoço,
O osso do seu pescoço ligado ao osso da sua cabeça,
Eu ouço a palavra do Senhor!

O importante é que esse cântico aplica-se a todo mamífero, aliás a todo vertebrado terrestre, e em muito mais detalhes do que suas palavras sugerem. Por exemplo, o "osso da sua cabeça", ou crânio, contém 28 ossos, a maioria unidos em rígidas "suturas", mas com um osso móvel principal (a mandíbula). E o fascinante é que, afora um ou outro osso ímpar aqui e ali, o mesmo conjunto de 28 ossos, que claramente podem ser rotulados com os mesmos nomes, é encontrado em todos os mamíferos.

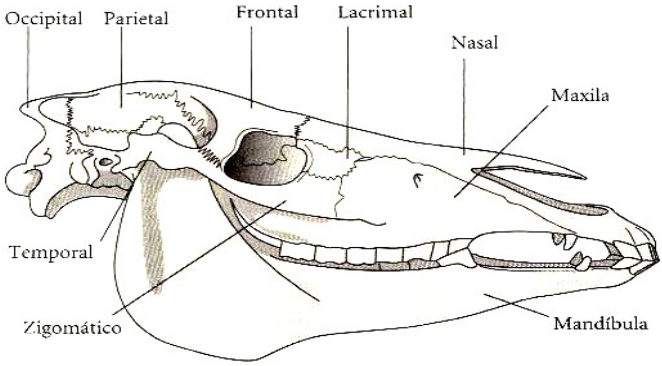
O osso do seu pescoço ligado ao seu osso occipital
Seu occipício ligado ao seu osso parietal

Seu parietal ligado ao seu osso frontal
Seu osso frontal ligado ao seu osso nasal
[...]
Seu 27º. osso ligado ao seu 28º. osso [...]

Tudo isso é igual, independentemente do fato de as formas dos ossos específicos diferirem muito entre os mamíferos.



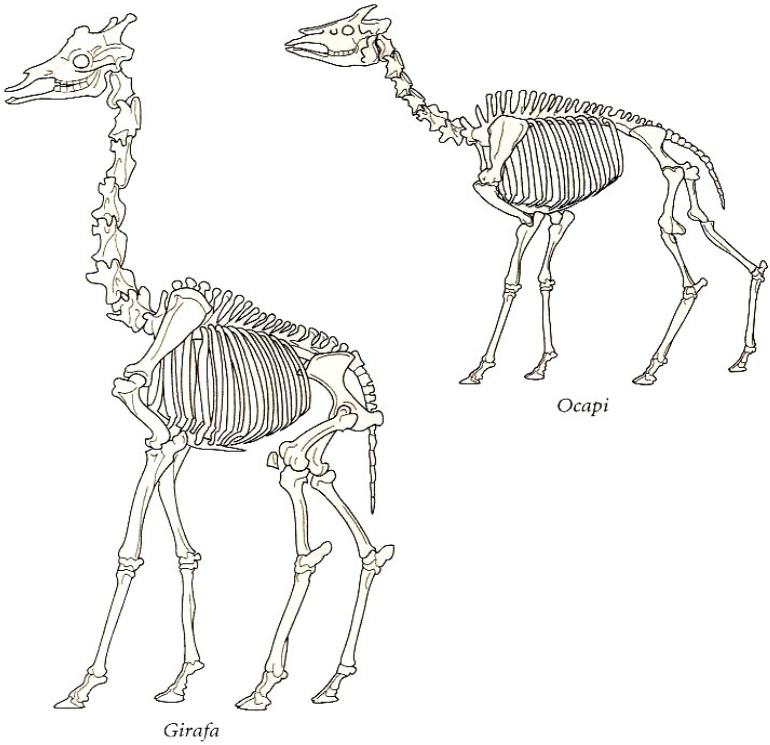
Crânio humano



Crânio do cavalo

O que concluímos de tudo isso? Restringimo-nos aqui a animais modernos, portanto não estamos vendo a evolução em ação. Somos os detetives, chegamos depois à cena do crime. E o padrão de semelhanças entre os esqueletos de animais modernos é exatamente aquele que se deve esperar de animais que descendem todos de um ancestral comum, alguns mais recentemente do que outros. O esqueleto do ancestral modificou-se

gradualmente no decorrer das eras. Alguns pares de animais, por exemplo, a girafa e o ocapi, têm um ancestral comum recente. Não é rigorosamente correto descrever uma girafa como um ocapi verticalmente esticado, pois ambos são animais modernos. Mas seria um bom palpite (corroborado por evidências fósseis, por acaso, mas não estamos falando de fósseis neste capítulo) dizer que o ancestral comum provavelmente era mais parecido com o ocapi do que com a girafa.



Analogamente, o impala e o gnu são primos próximos um do outro e primos um pouco mais distantes da girafa e do ocapi. Todos esses quatro

são primos ainda mais distantes de outros animais de casco fendido, como o porco e o javali-africano (que são primos um do outro e do pecari). Todos os animais de casco fendido são primos mais distantes do cavalo e da zebra (que não têm casco fendido e são primos próximos um do outro). Podemos prosseguir até onde bem entendermos, incluindo pares de primos em grupos, e grupos de grupos de primos e (grupos de (grupos de (grupos de primos))). Desandei a usar parênteses automaticamente, e você sabe o que eles significam. O significado dos parênteses na expressão a seguir é imediatamente claro, pois você já sabe tudo sobre o fato de primos terem avós em comum, e primos em segundo grau terem bisavós em comum e assim por diante:

[(lobo raposa) (leão leopardo)] [(girafa ocapi) (impala gnu)]

Tudo aponta para uma simples árvore genealógica ramificada: uma árvore de parentesco.
Dei a entender que a árvore de semelhanças é realmente uma árvore de parentesco, mas somos forçados a essa conclusão? Existem interpretações alternativas? Bem, quase não! O padrão hierárquico de semelhanças foi detectado por criacionistas em tempos pré-darwinianos, e eles tinham uma explicação não evolucionária, constrangedoramente forçada. Segundo eles, os padrões de semelhança refletiam temas na mente do criador. Ele tinha várias idéias sobre como fazer animais. Seus pensamentos seguiam as linhas de

um tema "mamífero" e, independentemente, as linhas de um tema "inseto". No tema mamífero, as ideias do criador bifurcavam-se de modo elegante e hierárquico em subtemas (digamos, o tema do casco fendido) e subsubtemas (digamos, o tema suíno). Há nisso muito sofisma e racionalização de desejo, e hoje em dia raramente os criacionistas recorrem a tal argumento. Aliás, como no caso das evidências fornecidas pela distribuição geográfica, que vimos no capítulo anterior, eles raramente examinam evidências comparativas, preferindo ater-se aos fósseis, ensinados que foram (erroneamente) a achar que aí estão pisando em terreno promissor.

SEM EMPRÉSTIMO

Só para enfatizar como é esquisita essa ideia de um criador ater-se rigidamente a "temas", reflita que qualquer designer humano sensato usa sem problemas uma ideia de uma de suas invenções se ela beneficiar outra invenção. Talvez exista um "tema" no design de aeronaves, o qual é separado do "tema" do design de trens. Mas um componente de um avião — por exemplo, um design aperfeiçoado para a leitura das luzes acima do assento — poderia muito bem ser tomado de empréstimo para o uso em trens. Por que não deveria, se serve ao mesmo propósito nos dois casos? Quando o automóvel foi inventado, o nome "carruagem sem cavalos" já nos diz de onde veio parte da inspiração. Mas os veículos puxados por cavalos não precisam de volante, pois para dirigir

os animais usam-se rédeas; por isso, o volante precisou ter outra fonte. Não sei de onde ele provém, mas suspeito que tenha sido tomado de empréstimo a uma tecnologia totalmente diferente, a do barco. Antes de ser suplantado pelo volante, que foi introduzido em fins do século xix, o mecanismo original de direção do carro era a alavanca de mão, também inspirada nos barcos, porém movida de trás para a frente no veículo.

Se as penas são uma boa ideia dentro do tema "aves", e por isso toda ave, sem exceção, as possui, sendo ou não voadora, por que nenhum mamífero é emplumado? Por que o designer não usaria essa engenhosa invenção, a pena, ao menos para um morcego? A resposta do evolucionista é clara. Todas as aves herdaram suas penas de seu ancestral comum, que era emplumado. Nenhum mamífero descende desse ancestral. Simples assim. A árvore de semelhanças é uma árvore de parentesco. É o mesmo tipo de história para todo ramo, todo sub-ramo e todo subsub-ramo da árvore da vida.

Chegamos agora a um ponto interessante. Existem muitos belos exemplos nos quais parece, à primeira vista, que certas ideias poderiam ter sido "tomadas de empréstimo" de uma parte da árvore e enxertadas em outra, como num enxerto de uma variedade de maçã em outra variedade. Um golfinho, que é uma baleia de pequeno porte, superficialmente se parece com vários tipos de peixes grandes. Um destes, o dourado (Coryphoena hippuris), às vezes é até chamado de "golfinho". Dourados e golfinhos verdadeiros têm a

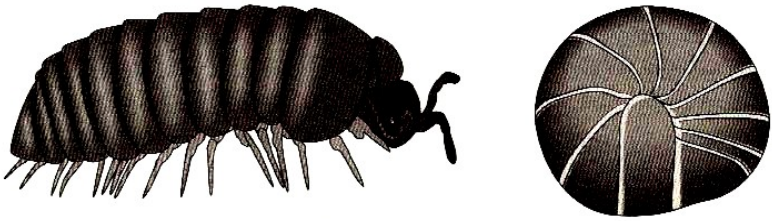
mesma forma hidrodinâmica, adequada aos seus modos de vida semelhantes como caçadores velozes que atuam próximo da superfície do mar. Mas suas técnicas de nado, embora à primeira vista parecidas, não foram emprestadas nem por um nem pelo outro, como logo notamos quando examinamos os detalhes. Embora ambos derivem sua velocidade principalmente da cauda, o dourado, como todos os peixes, move a cauda lateralmente. O verdadeiro golfinho, porém, trai sua história mamífera batendo a cauda para cima e para baixo. A ondulação lateral que percorre a espinha dorsal do peixe ancestral foi herdada pelos lagartos e cobras que, quase poderíamos dizer, "nadam" em terra firme. Contraste-a com o galope de um cavalo ou um guepardo. A velocidade destes é obtida com a curvatura da espinha, como no caso dos peixes e cobras; mas nos mamíferos a espinha curva-se para cima e para baixo, e não de um lado para o outro. Uma questão interessante é como se deu a transição na linhagem dos mamíferos. Talvez tenha havido um estágio intermediário, quase sem curvatura da espinha em qualquer direção, como ocorre com as rãs. Já os crocodilos são capazes de galopar (com uma velocidade apavorante) e também de usar o andar parecido com o dos lagartos, mais convencional entre os répteis. Os ancestrais dos mamíferos não eram parecidos com o crocodilo, mas talvez estes nos mostrem como um ancestral intermediário poderia ter combinado os dois modos de locomoção.

Seja como for, os ancestrais das baleias eram

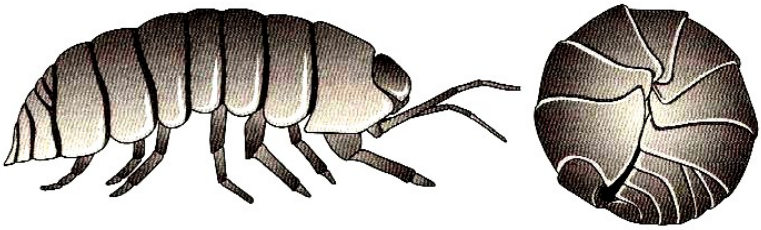
membros de carteirinha do clube dos mamíferos e sem dúvida galoparam pelas pradarias, desertos ou tundras flexionando a espinha para cima e para baixo. Quando voltaram para o mar, conservaram esse modo de mover a coluna vertebral. Se as cobras "nadam" em terra firme, os golfinhos "galopam" no mar! Sendo assim, a cauda lobada do golfinho pode, superficialmente, parecer-se com a cauda fendida do dourado, mas alinha-se na horizontal, enquanto as nadadeiras do dourado dispõem-se no plano vertical. Em numerosos outros aspectos a história do golfinho está escrita nele, e eu os exporei no capítulo com esse título.

Há outros exemplos nos quais a semelhança superficial é tão grande que parece dificílimo rejeitar a hipótese do "empréstimo", mas uma inspeção mais atenta mostra que temos de rejeitá-la. Existem animais tão parecidos que nos dão a impressão de que têm de ser aparentados. Mas acabamos descobrindo que as semelhanças, embora impressionantes, são suplantadas numericamente pelas diferenças quando examinamos o corpo inteiro. Os "tatuzinhos" de quintal (ver abaixo) são criaturinhas bem conhecidas, que são dotadas de numerosas pernas e se enrolam como o tatu numa bola protetora. Essa, aliás, pode ser a origem de seu nome latino, Armadillidium. Assim é chamado um tipo de "tatuzinho" que é um crustáceo, parente do camarão, mas terrícola; ele trai sua descendência aquática recente respirando por guelras, as quais têm de ser mantidas úmidas. Mas o importante é que existe um tipo completamente diferente de

"tatuzinho" que não é um crustáceo, e sim um milípede. Quem os vê enrolados pode pensar que são quase idênticos. No entanto, um é um crustáceo modificado, enquanto o outro é um milípede (modificado na mesma direção).
Quando os desenrolamos e examinamos com atenção, imediatamente vemos no mínimo uma diferença importante. O tatuzinho milípede possui dois pares de pernas na maioria de seus segmentos, o tatuzinho crustáceo, apenas um. Não são fascinantes todas essas infinitas modificações? Um exame mais minucioso mostrará que em centenas de aspectos o tatuzinho milípede realmente se parece com um milípede mais convencional. A semelhança com o tatuzinho crustáceo é superficial — convergente.



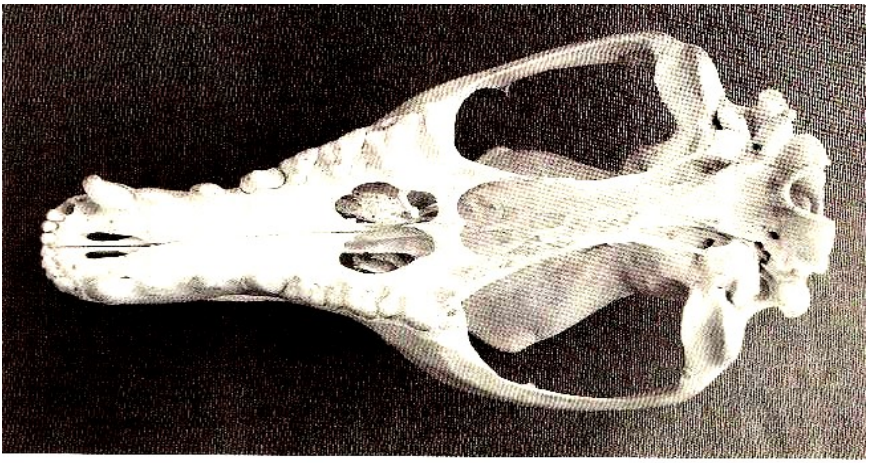
"Tatuzinho" milípede



"Tatuzinho" crustáceo

A imensa maioria dos zoólogos não especialistas diria que o crânio abaixo pertence a um cão. Um

especialista descobriria que não se trata de um crânio de cão ao notar dois conspícuos orifícios no céu da boca. Esses são sinais característicos de marsupiais, o grande grupo de mamíferos hoje encontrado, sobretudo, na Austrália. O crânio pertence a um Thylacinus, ou "lobo-da-tasmânia". Os tilacinos e os cães verdadeiros (por exemplo, os dingos, com os quais eles competiam na Austrália e na Tasmânia) convergiram para um crânio muito semelhante porque têm (tiveram, infelizmente, no caso do desditoso tilacino) um estilo de vida semelhante.



"Crânio de Thylacinus (*"lobo marsupial" ou "tigre-da-tasmânia"*)

Já mencionei a magnífica fauna de mamíferos marsupiais da Austrália no capítulo sobre a distribuição geográfica dos animais. O importante neste capítulo são as repetidas convergências entre esses marsupiais e a grande variedade de equivalentes entre os mamíferos "placentários" (isto é, não marsupiais) que dominam o resto do

mundo. Embora longe de ser idênticos, mesmo em características superficiais, cada marsupial na ilustração ao lado é suficientemente semelhante a seu equivalente placentário — ou seja, o placentário que pratica o "ofício" mais parecido — para nos impressionar, mas sem dúvida não é suficientemente semelhante para sugerir um "empréstimo" por um criador.

O embaralhamento sexual dos genes em um reservatório gênico poderia ser visto como um tipo de empréstimo ou compartilhamento de "idéias" genéticas, mas a recombinação sexual está restrita à espécie e, portanto, não é relevante para este capítulo, que trata da comparação entre espécies, como as de marsupiais e mamíferos placentários. Um fato interessante é que, entre bactérias, é muito comum haver um alto nível de empréstimo de DNA. Em um processo que às vezes é considerado um tipo de precursor da reprodução sexuada, bactérias — até de cepas com parentesco muito distante — trocam "idéias" de DNA com promíscua desenvoltura. "Empréstimo de idéias", aliás, é um dos principais modos pelos quais as bactérias aprendem "truques" úteis, como resistir a antibióticos específicos.

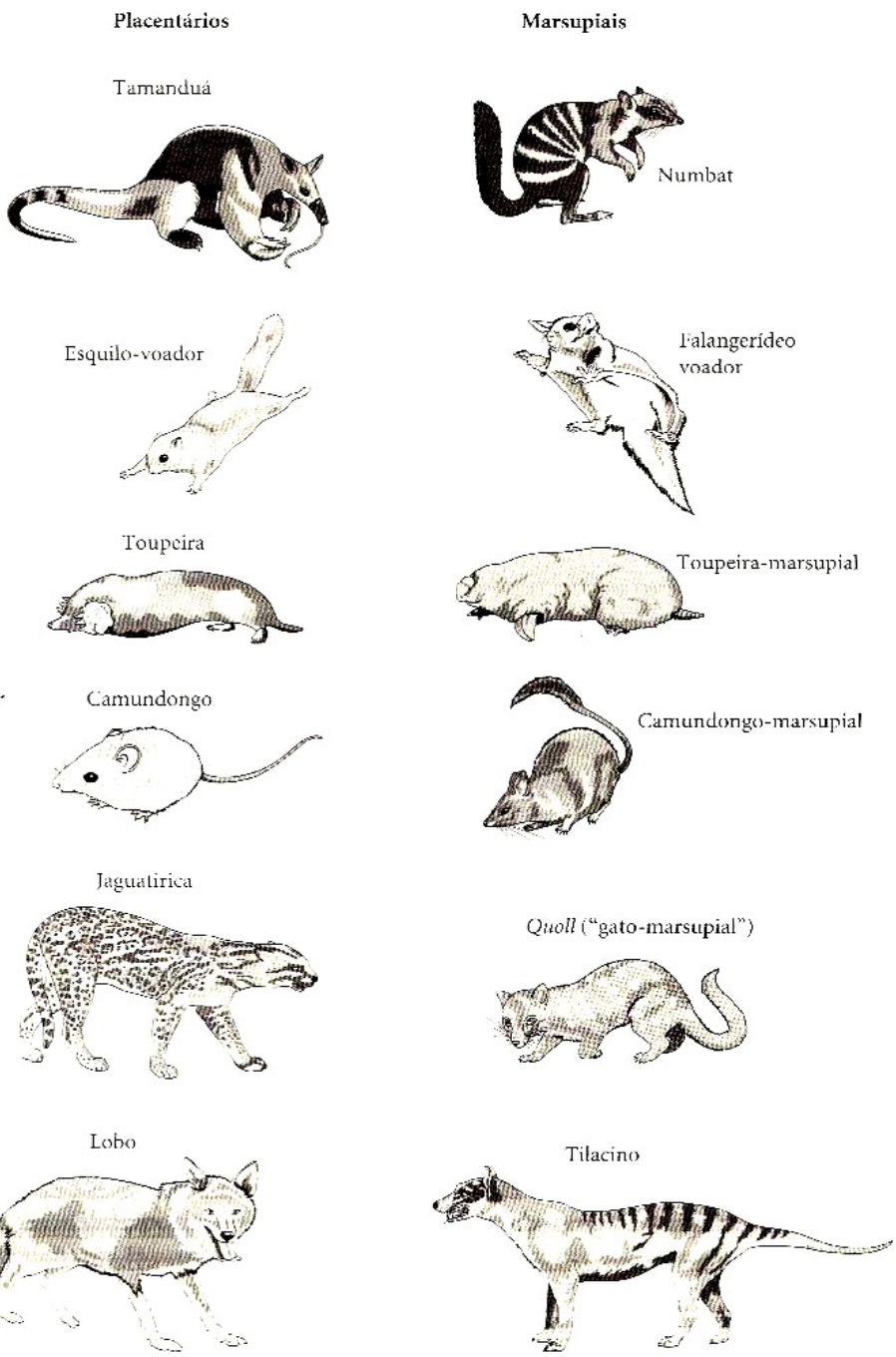
Esse fenômeno é frequentemente designado pelo nada útil nome de "transformação". Isso porque, quando foi descoberto em 1928 por Frederick Griffith, nada se sabia sobre o DNA. O que Griffith descobriu foi que uma cepa não virulenta de Streptococcus podia adquirir virulência de uma cepa totalmente diferente, mesmo se esta última estivesse morta. Hoje diríamos que a cepa não

virulenta incorporou em seu genoma parte do DNA da cepa virulenta morta (o DNA não se importa com "estar morto"; ele é apenas informação codificada). Na linguagem deste capítulo, a cepa não virulenta "tomou de empréstimo" uma "idéia" genética da cepa virulenta. Obviamente, bactérias que tomam emprestados genes de outras bactérias são uma coisa muito diferente de um criador que toma de empréstimo suas próprias idéias para um "tema" e as reutiliza em outro tema. Ainda assim é interessante, pois, se isso fosse tão comum em animais quanto é nas bactérias, ficaria mais difícil refutar a hipótese do "empréstimo pelo criador". E se os morcegos e as aves se comportassem como bactérias nesse aspecto? E se pedaços do genoma de aves pudessem ser transportados, talvez por uma infecção bacteriana ou viral, e implantado no genoma de um morcego? Talvez uma única espécie de morcego pudesse subitamente adquirir penas, tomando emprestadas as informações codificadoras que ensejam a formação das penas no DNA, em uma versão genética dos comandos "Copiar e Colar" do computador.

Nos animais, em contraste com as bactérias, a transferência gênica parece limitar-se quase totalmente às relações sexuais no âmbito da espécie. Com efeito, uma definição razoável de "espécie" é um conjunto de animais que apresentam transferência gênica entre si. Quando duas populações de uma espécie separam-se durante um tempo suficiente para que não mais possam trocar genes sexualmente (em geral após

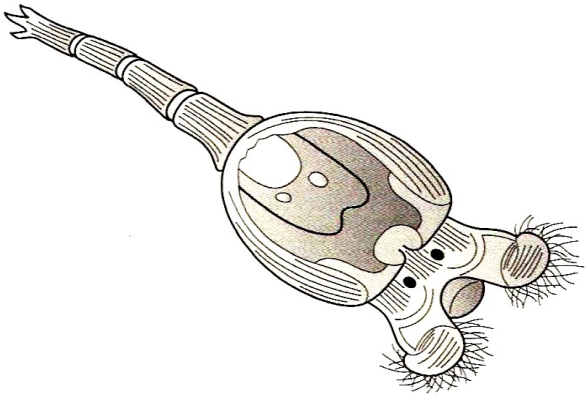
um período inicial de separação geográfica forçada, como vimos no capítulo 9), passamos a defini-las como espécies distintas, e elas nunca mais voltarão a trocar genes, a não ser por intervenção de engenheiros genéticos humanos. Meu colega Jonathan Hodgkin, professor de genética em Oxford, tem notícia de apenas três exceções não definitivamente estabelecidas à regra de que a transferência gênica limita-se à espécie: em vermes nematodos, na mosca-das-frutas e (em maior grau) nos rotíferos bdeloídios.

Este último grupo é especialmente interessante porque, entre os principais agrupamentos de eucariotas, são os únicos que não têm sexo. Será que eles foram capazes de dispensar o sexo porque reverteram ao antigo modo bacteriano de trocar genes? A transferência gênica entre espécies parece ser mais comum em plantas. A parasita cuscuta doa genes à planta hospedeira na qual se enrosca.



Placentarios e marsupiais correspondentes

Estou indeciso com respeito à política dos alimentos geneticamente modificados, e hesito entre, de um lado, os potenciais benefícios à agricultura e, de outro, meu instinto de precaução. Mas um argumento que não tinha ouvido antes merece uma breve menção. Hoje lamentamos o modo como nossos predecessores introduziram espécies de animais em terras estranhas só por diversão. O esquilo-cinzento americano foi introduzido na Grã-Bretanha por um dos duques de Bedford: um capricho que hoje vemos como desastrosamente irresponsável. É interessante indagar se os taxonomistas do futuro poderão lastimar o modo como nossa geração brincou com os genomas: transportando, por exemplo, genes "anticongelantes" de peixes do Ártico para tomates a fim de protegê-los do frio. Cientistas extraíram da água-viva um gene que lhe dá uma fulguração fosforescente e o inseriram no genoma da batata, na esperança de fazê-la brilhar quando precisasse de irrigação. Li até sobre um "artista" que planeja criar uma "instalação" composta de cães luminosos que brilham com a ajuda de genes de água-viva. Essa licenciosidade com a ciência em nome de uma pretensa "arte" fere as minhas sensibilidades. Mas o dano poderia ir além? Esses frívolos caprichos poderiam solapar a validade de futuros estudos sobre as relações evolucionárias? Na verdade, duvido disso, mas talvez pelo menos valha a pena levantar a questão, em nome da prudência. O objetivo da prudência, afinal, é evitar futuras repercussões de escolhas e ações cujo perigo não é evidente neste momento.



Rotífero bdeloídio

CRUSTÁCEOS

Comecei o capítulo com o esqueleto dos vertebrados, que é um belíssimo exemplo de padrão invariável ligado a detalhes variáveis. Quase qualquer outro grande grupo de animais se encaixaria nesse mesmo tipo de exemplo. Vejamos só mais um, muito citado: os crustáceos decápodes, grupo que inclui lagostas, pitus, caranguejos e caranguejos-ermitãos (que, a propósito, não são caranguejos). O plano corporal de todos os crustáceos é o mesmo. Enquanto o nosso esqueleto vertebrado consiste em ossos duros no interior de um corpo cujas outras partes são moles, os crustáceos possuem um exoesqueleto composto de tubos duros, dentro dos quais o animal mantém e protege suas partes moles. Os tubos rígidos são articulados, de um modo um tanto parecido com a junção dos nossos

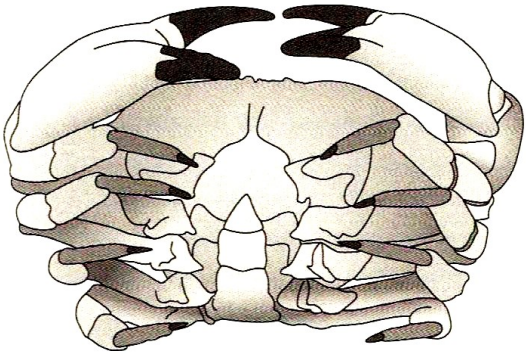
ossos. Pense, por exemplo, nas delicadas articulações das pernas e na articulação mais robusta da pinça em um caranguejo ou lagosta. Os músculos que impulsionam a pinça de uma lagosta grande encontram-se no interior dos tubos que compõem a pinça. Os músculos equivalentes quando uma mão humana pinça algo ligam-se aos ossos situados no meio do dedo e do polegar.

Como os vertebrados, mas ao contrário dos ouriços-do-mar e das águas-vivas, os crustáceos são simétricos dos lados direito e esquerdo, com uma série de segmentos que percorre longitudinalmente o corpo da cabeça à cauda. Os segmentos são iguais entre si em seu plano básico, mas muitos diferem nos detalhes. Cada segmento consiste em um tubo curto unido, rigidamente ou por uma articulação, aos dois segmentos vizinhos. Como nos vertebrados, os órgãos e sistemas de órgãos de um crustáceo apresentam um padrão repetido conforme vistos da parte anterior para a posterior. Por exemplo, o tronco nervoso principal que percorre o corpo longitudinalmente do lado ventral (e não do lado dorsal, como a coluna espinhal dos vertebrados) possui um par de gânglios (espécies de minicérebros) em cada segmento, dos quais se projetam nervos que servem ao segmento. A maioria dos segmentos possui um membro de cada lado, e cada membro consiste em uma série de tubos ligados por articulações. Em geral os membros de crustáceos terminam numa bifurcação que, em muitos casos, poderíamos chamar de pinça. A cabeça também é

segmentada, embora, como a dos vertebrados, seu padrão de segmentação seja mais disfarçado do que no resto do corpo. Há cinco pares de membros espreitando na cabeça, ainda que possa parecer estranho chamá-los de membros, pois eles são modificados para servir de antena ou de componentes do aparelho da mandíbula. Por isso costumam ser chamados de apêndices, e não de membros. De modo mais ou menos invariável, os cinco segmentos apendiciformes da cabeça, a contar do dianteiro, consistem em primeiras antenas (ou antênulas), segundas antenas (em geral chamadas apenas de antenas), mandíbulas, primeiras maxilas (ou maxílulas) e segundas maxilas. As antênulas e as antenas ocupam-se, sobretudo, de sentir. As mandíbulas e maxilas servem para mastigar, moer ou processar de algum outro modo o alimento. Conforme seguimos em direção à parte posterior do corpo, os apêndices segmentares ou membros são bem variáveis, e os do meio consistem geralmente em pernas para andar, enquanto os que se projetam dos segmentos mais posteriores muitas vezes são obrigados a outras tarefas, como nadar.

Na lagosta e no pitu, em seguida aos cinco segmentos apendiciformes usuais da cabeça, os primeiros apêndices segmentares do corpo são as pinças. Os quatro pares seguintes são pernas com as quais o animal anda. Os segmentos que contêm as pinças e as pernas que andam agrupam-se no tórax. O resto do corpo é chamado de abdome. Seus segmentos, até a fronteira com a cauda, são os "pleópodes", apêndices filamentosos que

ajudam a natação, tão importantes em alguns pitus graciosamente delicados. Nos caranguejos, a cabeça e o tórax fundiram-se em uma grande unidade à qual se ligam os primeiros dez pares de membros. O abdome situa-se sob a cabeça/tórax e não pode ser visto por quem olha o animal de cima. Para ver o padrão segmentar do abdome é preciso virar o caranguejo de barriga para cima. A figura abaixo mostra o típico abdome estreito de um caranguejo macho. O abdome da fêmea é mais largo e lembra um avental. O caranguejo-eremita distingue-se por possuir o abdome assimétrico (para encaixar-se na concha de molusco vazia que é sua casa), mole e sem carapaça (porque a concha do molusco fornece a proteção).



Abdome estreito e retraído de um caranguejo macho

Para ter uma idéia de alguns dos fascinantes modos como o corpo dos crustáceos é modificado nos detalhes enquanto o plano corporal não sofre modificações, observe o conjunto de desenhos da próxima página, feitos pelo famoso zoólogo oitocentista Ernst Haeckel, talvez o mais devotado

discípulo de Darwin na Alemanha (a devoção não era recíproca, mas sem dúvida até Darwin teria admirado a habilidade de Haeckel como desenhista). Como fizemos com o esqueleto dos vertebrados, observemos cada parte do corpo desses caranguejos e lagostins. Nota-se que, sem exceção, cada parte tem sua correspondente em todos os demais. Cada pedacinho do exoesqueleto está unido aos "mesmos" pedaços, mas as formas dos pedaços diferem bastante. Mais uma vez, o "esqueleto" é invariável, enquanto suas partes variam consideravelmente. E mais uma vez, a interpretação óbvia — e a única sensata, a meu ver — é que todos esses crustáceos herdaram de um ancestral comum o plano de seu esqueleto. Moldaram os componentes individuais em uma rica variedade de formas. Mas o plano em si permanece, exatamente como foi herdado do ancestral.

O QUE D'ARCY THOMPSON FARIA COM UM COMPUTADOR?

Em 1917 o grande zoólogo escocês D'Arcy Thompson escreveu um livro intitulado On growth and form. No último capítulo ele incluiu seu célebre "método das transformações". Ele desenhava um animal em uma folha de gráfico, em seguida distorcia o papel de um modo matematicamente especificável e mostrava que a forma do animal transformara-se na de outro animal aparentado. Podemos imaginar o papel de gráfico original como um pedaço de borracha no

qual desenhamos nosso primeiro animal. O papel de gráfico transformado seria o equivalente do mesmo pedaço de borracha esticado ou puxado de algum modo matematicamente definido. Por exemplo, D'Arcy Thompson escolheu seis espécies de caranguejo e desenhou uma delas, Geryon, em papel de gráfico comum (o pedaço de borracha não deformado). Em seguida, distorceu a sua "folha de borracha" matemática de cinco modos distintos para obter uma representação aproximada das outras cinco espécies de caranguejo. Os detalhes da matemática não importam, embora sejam fascinantes. O que podemos ver com clareza é que não é preciso muito para transformar um caranguejo em outro. O próprio D'Arcy Thompson não se interessava muito por evolução, mas é fácil imaginar o que as mutações genéticas teriam de fazer para ocasionar mudanças desse tipo. Isso não significa que devemos supor que o Geryon, ou qualquer outro dos seis caranguejos, seja o ancestral dos demais. Nenhum deles é, e, aliás, isso não é o que interessa. O que interessa é que, independentemente da aparência do caranguejo ancestral, transformações desse tipo poderiam mudar qualquer uma dessas seis espécies (ou um suposto ancestral) em qualquer outra.

Nunca ocorreu evolução pegando-se uma forma adulta e ajeitando-a até dar-lhe outra forma. Lembre-se de que todo adulto cresce a partir de um embrião. As mutações selecionadas teriam atuado no embrião em desenvolvimento mudando a taxa de crescimento de algumas partes do corpo

em relação a outras partes. No capítulo 7 interpretamos a evolução do crânio humano como uma série de mudanças nas taxas de crescimento de algumas partes em relação a outras, controlada por genes no embrião em desenvolvimento. Assim, é de prever que, se desenharmos um crânio humano numa folha de "borracha matemática", deve ser possível distorcer essa borracha de algum modo matematicamente elegante e obter uma semelhança aproximada com o crânio de um primo próximo, como o chimpanzé ou — talvez com uma distorção maior — um primo mais distante, como um babuíno. E foi exatamente isso que D'Arcy Thompson demonstrou.

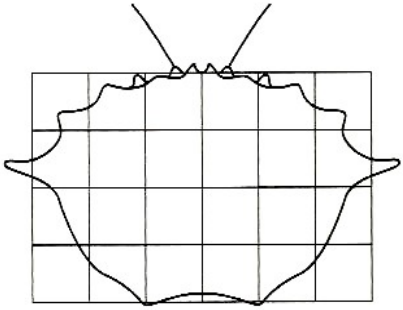
Crustáceos de Haeckel. Ernst Haeckel foi um renomado zoólogo alemão e excelente artista zoológico

Volto a salientar que foi uma decisão arbitrária desenhar primeiro o crânio humano e depois transformá-lo nos de chimpanzé e babuíno. Ele poderia perfeitamente ter desenhado, por exemplo, primeiro o do chimpanzé e então efetuar as distorções necessárias para chegar ao do humano e ao do babuíno. Ou, o que seria mais interessante para um livro sobre evolução (o dele não era), ele poderia ter desenhado, digamos, primeiro um crânio de Australopithecus na borracha não distorcida e calculado como transformá-lo num crânio humano moderno. Isso certamente teria funcionado tão bem quanto as figuras da página seguinte, e seria evolucionariamente significativo de um modo mais direto.

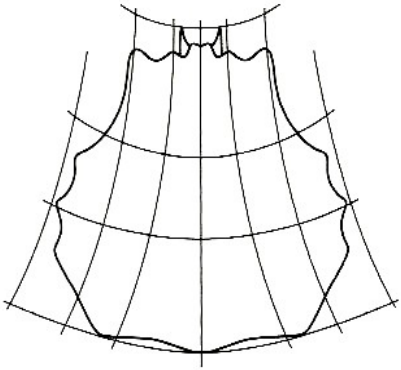
No início deste capítulo introduzi a idéia de "homologia", exemplificando com os braços do morcego e do homem. Permiti-me uma idiossincrasia de linguagem e disse que os esqueletos eram idênticos enquanto os ossos eram diferentes. As transformações de D'Arcy Thompson dão-nos um modo de tornar mais precisa essa ideia. Nessa formulação, dois órgãos — por exemplo, a mão do morcego e a mão humana — são homólogos se for possível desenhar um deles numa folha de borracha e então distorcer a borracha até obter o outro órgão. Os matemáticos têm um termo para isso: "homeomórfico".

Os zoólogos de tempos pré-darwinianos reconheciam a homologia, e os pré-evolucionistas descreviam como homólogas, por exemplo, a asa do morcego e a mão humana. Se possuíssem os

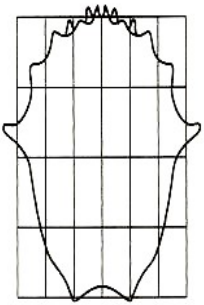
conhecimentos matemáticos necessários, usariam tranqüilamente a palavra "homeomórfico".



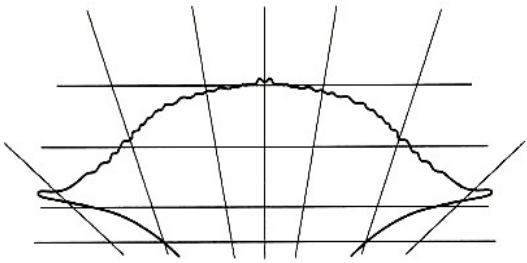
Geryon



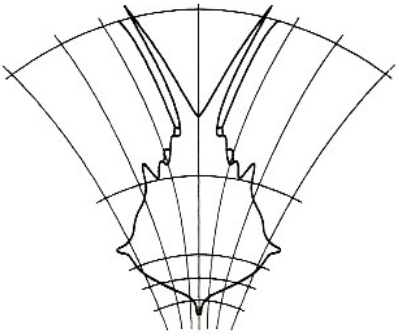
Paralomis



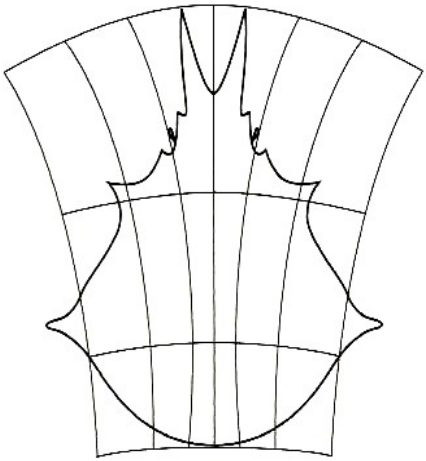
Corystes



Lupa

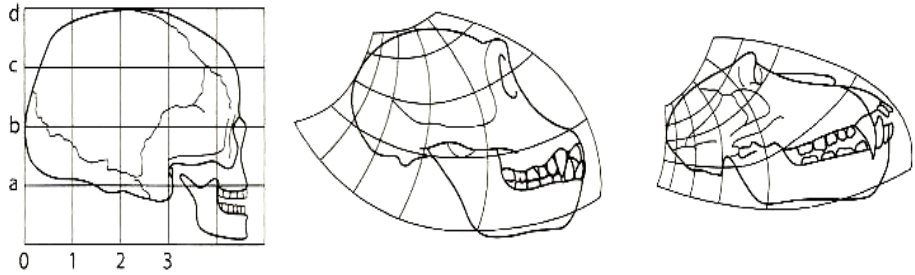


Scyramathia



Chorinus

"Transformações" de caranguejos por D'Arcy Thompson



"Transformação" craniana por D'Arcy Thompson

Nos tempos pós-darwinianos, quando se tornou geralmente aceito que morcegos e humanos têm um ancestral comum, os zoólogos começaram a definir a homologia em termos evolucionários. Semelhanças homólogas são aquelas herdadas do ancestral comum. A palavra "análogo" passou a ser usada para denotar semelhanças devidas a uma função comum, e não à descendência. Por exemplo, a asa dos morcegos e a asa dos insetos são consideradas análogas, em contraste com a asa do morcego e a mão humana, que são homólogas. Se quisermos usar a homologia como evidência do fato da evolução, não podemos usar a evolução para defini-la. Portanto, para esse fim, convém reverter à definição pré-evolucionária de homologia. A asa do morcego e a mão humana são homeomórficas: podemos transformar uma na outra distorcendo a borracha na qual ela é desenhada. Não podemos transformar dessa maneira uma asa de morcego numa asa de inseto, pois não existem partes correspondentes. A disseminada existência de homeomorfismos, os

quais não são definidos com base na evolução, pode ser apresentada como evidência da evolução. É fácil ver como a evolução poderia atuar sobre qualquer braço de vertebrado e transformá-lo no braço de qualquer outro vertebrado simplesmente mudando as taxas relativas de crescimento do embrião.

Desde que me familiarizei com computadores, durante minha pós-graduação nos anos 1960, eu me pergunto o que D'Arcy Thompson poderia ter feito se dispusesse de um computador. Essa questão impôs-se com mais veemência nos anos 1980, quando se tornaram financeiramente mais acessíveis os computadores dotados de telas (e não apenas de impressoras para papel). Desenhar em borracha deformável e então distorcer a superfície desenhada em bases matemáticas era algo que estava implorando para ser feito em computador! Sugeri que a Universidade de Oxford pleiteasse verba para contratar um programador que pusesse as transformações de D'Arcy Thompson numa tela de computador, disponibilizando-as aos usuários de um modo amigável. Obtivemos a verba e contratamos Will Atkinson, programador e biólogo de primeira linha, que se tornou meu amigo e consultor para os meus projetos de programação. Assim que ele encontrou a solução para o difícil problema de programar um rico repertório de distorções matemáticas da "borracha", passou a ser uma tarefa relativamente simples para ele incorporar a magia matemática em um programa de seleção artificial baseado em biomorfos, semelhante aos

meus programas de "biomorfos" descrito no capítulo 2. Como nos meus programas, o "jogador" via-se diante de uma tela cheia de formas animais e era convidado a escolher uma para promover a "reprodução" geração após geração. Novamente havia "genes" que persistiam ao longo das gerações, e novamente os genes influenciavam a forma dos "animais". Neste caso, porém, o modo como os genes influenciavam a forma dos animais era controlando a distorção da "borracha" na qual fora desenhada a forma animal. Portanto, teoricamente deveria ser possível começar, por exemplo, com o crânio de um Australopithecus desenhado na "borracha" não distorcida e promover a reprodução sucessiva de criaturas dotadas de caixa craniana cada vez maior e focinho cada vez menor — em outras palavras, progressivamente mais parecidas com a humana. Na prática revelou-se muito difícil fazer qualquer coisa nessa linha, e acho que esse fato, em si, é interessante.

A meu ver, uma razão da dificuldade é, mais uma vez, o fato de que as transformações de D'Arcy Thompson mudam uma forma adulta para outra forma adulta. Como ressaltei no capítulo 8, não é assim que os genes atuam na evolução. Cada animal individual tem sua história de desenvolvimento. Começa como embrião e cresce, um crescimento desproporcional nas difc rentes partes do corpo, até tornar-se adulto. A evolução não é uma distorção geneticamente controlada de uma forma adulta até chegar a outra; é uma alteração geneticamente controlada em um

programa de desenvolvimento. Julian Huxley (neto de Thomas Henry e irmão de Aldous) reconheceu isso quando, pouco depois da publicação da primeira edição do livro de D'Arcy Thomp son, ele modificou o "método de transformações" para estudar o modo como embriões em fase inicial transformam-se em embriões em fase mais avançada ou adultos. Isso é tudo o que direi aqui a respeito do método de transformações de D'Arcy Thompson. Voltarei ao assunto no último capítulo, para apresentar um argumento relacionado.

As evidências comparativas, como sugeri no começo deste capítulo, sempre corroboraram com ainda maior eloquência do que as fósseis o fato da evolução. O próprio Darwin afirmou coisa semelhante no fim de seu capítulo sobre "Afinidades mútuas de seres orgânicos" em A origem das espécies:

Finalmente, as várias classes de fatos que foram examinadas neste capítulo parecem-me proclamar com tanta clareza que as inúmeras espécies, gêneros e famílias de seres orgânicos com as quais este mundo é povoado descendem, todas, cada qual dentro de sua classe ou grupo, de pais comuns, e foram todas modificadas ao longo da descendência, que eu adotaria sem hesitação essa ideia mesmo se ela não fosse corroborada por outros fatos ou argumentos.

COMPARAÇÕES MOLECULARES

O que Darwin não sabia — não tinha como saber

— é que as evidências comparativas tornam-se ainda mais convincentes quando consideramos a genética molecular juntamente com as comparações anatômicas que estavam disponíveis para ele.

Assim como o esqueleto dos vertebrados é invariável para todos os vertebrados enquanto os ossos individualmente considerados diferem, e assim como o exoesqueleto dos crustáceos é invariável para todos os crustáceos enquanto os "tubos" individualmente considerados variam, também o código do DNA é invariável para todos os seres vivos enquanto os genes individualmente considerados variam. Esse é um fato assombroso, que mostra muito mais claramente do que qualquer outra coisa que todos os seres vivos descendem de um único ancestral. Não só o código genético em si, mas todo o sistema de genes/proteínas que gerem a vida, explicado no capítulo 8, é o mesmo em todos os animais, plantas, fungos, bactérias, arqueias e vírus. O que varia é o que está escrito nesse código, e não o código em si. E quando examinamos comparativamente o que está escrito no código — as sequências genéticas em todos esses seres díspares -, encontramos o mesmo tipo de árvore hierárquica de semelhanças. Encontramos a mesma árvore de parentesco — porém expressa de modo muito mais completo e convincente —, que pode ser vista no esqueleto dos vertebrados, no esqueleto dos crustáceos e, de fato, em todo o padrão de semelhanças anatômicas em todos os reinos da vida.

Para descobrir quão próximo é o parentesco entre qualquer par de espécies — por exemplo, um ouriço-cacheiro e um macaco —, o ideal seria examinar os textos moleculares completos de cada gene de ambas as espécies e comparar cada minúcia, como um estudioso da Bíblia quando coteja dois pergaminhos ou fragmentos de Isaías. Mas isso é demorado e caro. O Projeto Genoma Humano levou aproximadamente dez anos, o que representa muitos séculos-homem. Embora hoje seja possível obter o mesmo resultado em uma fração desse tempo, ainda assim seria uma tarefa enorme e dispendiosa, como o projeto para o genoma do ouriço-cacheiro. Juntamente com as aterrissagens das Apollo na Lua e o Grande Colisor de Hádrons (que foi acionado há pouco em Genebra neste momento em que escrevo — a escala gigantesca desse empreendimento internacional comoveu-me até as lágrimas quando o visitei), o decifrамento completo do genoma humano é uma das realizações que me deixam orgulhoso por ser da espécie humana. Exulto porque o projeto do genoma do chimpanzé agora foi concluído com êxito, assim como o equivalente para várias outras espécies. Se o presente ritmo de progresso continuar (veja a "Lei de Hodgkin" mais adiante), logo se tornará economicamente viável sequenciar o genoma de cada par de espécies cuja proximidade de parentesco queiramos medir. Enquanto isso, em grande medida temos de recorrer à amostragem de partes específicas de seus genomas, o que funciona razoavelmente bem.

Podemos fazer a amostragem escolhendo alguns genes (ou proteínas, cujas sequências são diretamente traduzidas de genes) e comparando-os para as espécies em questão. Logo tratarei desse método. Mas existem outros modos de fazer uma espécie de amostragem bruta, automática, e as tecnologias para isso existem há mais tempo. Um método pioneiro, que funciona surpreendentemente bem, usa o sistema imune dos coelhos (pode-se usar qualquer animal, na verdade, mas os coelhos fazem o trabalho a contento). Como parte da defesa natural do corpo contra patógenos, o sistema inume dos coelhos fabrica anticorpos contra qualquer proteína estranha que entre na corrente sanguínea. Assim como é possível dizer que já tive coqueluche examinando os anticorpos no meu sangue, também se pode saber a que um coelho foi exposto no passado examinando sua resposta imune no presente. Os anticorpos presentes no coelho constituem uma história dos choques naturais que sua carne herdou — incluindo proteínas injetadas artificialmente. Se, por exemplo, injetarmos uma proteína de chimpanzé num coelho, os anticorpos que ele produz subsequentemente atacarão a mesma proteína caso ela torne a ser injetada. Mas suponhamos que a segunda injeção seja da proteína equivalente, não de um chimpanzé, mas de um gorila. A exposição prévia do coelho à proteína do chimpanzé estará, de antemão, parcialmente armada contra a versão do gorila, mas a reação será mais fraca. E também se terá armado

previamente contra a versão da proteína existente nos cangurus, só que a reação será ainda mais fraca, dado que o canguru tem parentesco muito menos próximo com o chimpanzé usado no priming do que o gorila. A intensidade da resposta imune do coelho a uma injeção subsequente de uma proteína é uma medida da semelhança dessa proteína com aquela à qual o coelho foi inicialmente exposto. Foi com esse método, usando coelhos, que Vincent Sarich e Allan Wilson, da Universidade da Califórnia em Berkeley, demonstraram nos anos 1960 que humanos e chimpanzés são parentes muito mais próximos do que jamais se pensara.

Também existem métodos que usam os próprios genes, comparando-os diretamente entre as espécies, em vez de comparar as proteínas que eles codificam. Um dos mais antigos e mais eficazes é o método da hibrizidação de DNA. É a hibridização de DNA que geralmente está por trás de afirmações do tipo "Humanos e chimpanzés têm em comum 98% dos genes". A propósito, muitos se confundem a respeito do que, exatamente, significam porcentagens como essa. Noventa e oito por cento do que é idêntico? O número exato depende do tamanho das unidades que estamos contando. Uma analogia simples esclarece isso, e o faz de um modo interessante, pois as diferenças entre a analogia e a coisa real são tão reveladoras quanto as semelhanças. Suponha que temos duas versões do mesmo livro e desejamos compará-las. Poderia ser, por exemplo, o livro de Daniel, e desejamos comparar

a versão canônica com um pergaminho antigo que acaba de ser descoberto numa caverna que se abre para o mar Morto. Que porcentagem dos capítulos é idêntica nos dois livros? Provavelmente zero, pois basta uma só discrepância, em qualquer parte do capítulo todo, para dizermos que os dois não são idênticos. Que porcentagem de suas frases é idêntica! Agora a porcentagem será muito maior. E ainda maior será a porcentagem de palavras idênticas, pois palavras têm menos letras do que frases — menos oportunidades de arruinar a identidade. Mas, ainda assim, a semelhança de uma palavra será rompida se qualquer uma das letras que ela contém diferir. Portanto, se pusermos os dois textos lado a lado e os compararmos letra por letra, a porcentagem de letras idênticas será ainda maior que a porcentagem de palavras idênticas. Assim, uma estimativa de "98% em comum" não significa coisa alguma, a menos que se especifique o tamanho da unidade que está sendo comparada. Estamos contando capítulos, palavras, letras ou o quê? O mesmo vale quando comparamos DNA de duas espécies. Se compararmos cromossomos inteiros, a porcentagem em comum será zero, pois é preciso apenas uma minúscula diferença em alguma parte dos cromossomos para defini-los como diferentes.

A muito citada porcentagem de aproximadamente 98% de material genético comum a chimpanzés e humanos não se refere, na verdade, nem a números de cromossomos nem a números de genes inteiros, mas a números de "letras" de DNA

(tecnicamente, pares de bases) que são correspondentes nos respectivos genes de humanos e chimpanzés. Mas há um perigo. Se fizermos o alinhamento ingenuamente, uma letra faltante (ou uma letra adicionada), em contraste com uma letra errada, provocará o desencontro de todas as letras subsequentes; todas ficarão desencontradas em uma casa (até que haja um erro na outra direção que as ponha de novo em correspondência). É claramente injusto permitir que a estimativa de discrepâncias seja inflada dessa maneira. Um estudioso que examine a olho nu dois pergaminhos de Daniel automaticamente lida com esse problema, de um modo que é difícil de quantificar. Como podemos fazer isso com o DNA? É aqui que deixamos de lado nossa analogia com livros e pergaminhos e passamos direto para a coisa real, pois, na verdade, a coisa real — o DNA — é mais fácil de entender do que a analogia! Quando aquecemos gradualmente o DNA, chega um ponto, por volta dos 85°C, em que se rompe a ligação entre as duas fitas da dupla-hélice e as duas hélices separam-se. Podemos imaginar os 85°C, ou seja qual for a temperatura de separação das hélices, como um "ponto de fusão". Se permitirmos que se resfriem novamente, cada hélice isolada espontaneamente se reunirá a outra hélice isolada, ou a um fragmento de uma hélice isolada, sempre que encontrar uma com a qual possa emparelhar usando as regras usuais do pareamento de bases da dupla-hélice. Você poderia pensar que em todos os casos o par seria formado com a parceira da qual ela foi

recentemente separada e com a qual, obviamente, tem uma correspondência perfeita. Realmente isso poderia ocorrer, mas em geral não é tão certinho assim. Fragmentos de DNA encontrarão outros fragmentos com os quais podem emparelhar, e o mais das vezes não será exatamente o seu parceiro original. Inclusive, se adicionarmos fragmentos separados de DNA de outra espécie, fragmentos da hélice solitária são bem capazes de reunir-se a fragmentos de hélices solitárias da espécie errada, exatamente como se juntariam a hélices solitárias da espécie certa. Por que não o fariam? A impressionante conclusão da revolução da biologia molecular ensejada por Watson e Crick é: DNA é apenas DNA. Ele não "se importa" se é DNA de humano, de chimpanzé ou de maçã. Fragmentos alegremente farão par com fragmentos complementares sempre que os encontrarem. Não obstante, a força da ligação nem sempre é igual. Trechos de DNA em uma só hélice ligam-se mais fortemente a trechos de hélice solitária que são seus companheiros do que com trechos de hélices isoladas menos semelhantes. Isso ocorre porque um número maior das "letras" do DNA (as "bases" de Watson e Crick) encontram-se defronte a parceiras com as quais não podem formar par. A ligação das hélices, assim, é enfraquecida — como um zíper ao qual faltam alguns dentes.

Como se mede a força dessas ligações quando fragmentos de diferentes espécies encontram-se e se unem? Por um método tão simples que quase dá vontade de rir. Basta medir o "ponto de fusão"

das ligações. Como você se lembra, eu disse que o ponto de fusão da dupla-hélice de DNA é aproximadamente 85°C. Isso vale para o DNA de dupla hélice normal, adequadamente pareado, como quando uma fita de DNA humano é "separada por fusão" de uma fita complementar de DNA humano. Mas quando a ligação é mais fraca, por exemplo, quando uma fita de humano liga-se a uma fita de chimpanzé, uma temperatura ligeiramente mais baixa é suficiente para romper a ligação. E quando DNA de humano liga-se a DNA de um primo mais distante, como um peixe ou um sapo, uma temperatura ainda mais baixa basta para separá-las. A diferença entre o ponto de fusão quando uma fita liga-se a outra de seu tipo e o ponto de fusão quando ela se liga a outra pertencente a uma espécie diferente é nossa medida da distância genética entre as duas espécies. Como regra prática, cada diminuição de 1º Celsius no "ponto de fusão" equivale aproximadamente a uma diminuição de 1% no número de letras de DNA equivalentes (ou a um aumento de 1% no número de dentes faltantes no zíper).

Esse método contém partes complicadas que não explicitei, bem como problemas difíceis para os quais há soluções engenhosas. Por exemplo, se misturarmos DNA de humano com DNA de chimpanzé, boa parte do DNA humano fragmentado se ligará a outros fragmentos de DNA humano, e boa parte de DNA de chimpanzé se ligará aos de seu tipo. Como fazer a separação do DNA híbrido, cujo "ponto de fusão" é o que

realmente se quer medir, do DNA "do mesmo tipo"? A resposta é: com um truque inteligente baseado em rastreamento radioativo. Mas os detalhes nos afastariam demais do nosso caminho. O fundamental, aqui, é que a hibridização do DNA é a técnica que leva os cientistas a obter números como 98% para a semelhança genética entre humanos e chimpanzés, e ela fornece porcentagens previsivelmente menores conforme se comparam pares de animais que tenham parentesco mais distante.

O mais recente método de medir a semelhança entre um par de genes correspondentes de diferentes espécies é o mais direto e o mais caro: ler a sequência de letras dos próprios genes, usando os mesmos métodos que foram empregados para o Projeto Genoma Humano. Embora ainda seja caro comparar o genoma inteiro, podemos obter uma boa aproximação cotejando uma amostra de genes, e cada vez mais é assim que vem sendo feito.

Seja qual for a técnica que usemos para medir a semelhança entre duas espécies — anticorpos de coelhos, pontos de fusão ou sequenciamento direto —, o próximo passo é praticamente o mesmo. Uma vez obtido um número representando a semelhança entre cada par de espécies, registramos os números numa tabela. Pegamos um conjunto de espécies e escrevemos seus nomes, na mesma ordem, nos títulos da coluna e da linha. E então anotamos cada porcentual de semelhanças na casa apropriada. A tabela será triangular (metade de um quadrado)

porque, por exemplo, a semelhança porcentual entre humanos e cães será igual à de cães e humanos. Assim, se preenchêssemos toda a tabela quadrada, as duas metades, uma de cada lado da diagonal, espelhariam uma à outra.

Pois bem: que tipo de resultados devemos prever? No modelo evolucionista, devemos prever que o valor mais elevado estará na casa que associa humanos e chimpanzés, e que na casa que associa humanos a cães encontraremos um valor mais baixo. A casa dos humanos/cães teoricamente deveria ter um valor de semelhança idêntico à dos chimpanzés/cães porque humanos e chimpanzés têm exatamente o mesmo grau de parentesco com os cães. E também deverá ser idêntica em valor de semelhança à casa dos macacos/cães e à dos lêmures/cães. Isso porque humanos, chimpanzés, macacos e lêmures são todos aparentados com os cães por intermédio de seu ancestral comum, um primata antigo (que provavelmente se parecia um pouco com o lêmure). O mesmo porcentual deverá aparecer nas casas de humanos/gatos, chimpanzés/ gatos, macacos/gatos e lêmures/gatos, pois o cão e o gato são parentes de todos os primatas por intermédio do ancestral comum de todos os carnívoros. Deverá haver um porcentual muito menor — idealmente, no mesmo patamar — em todas as células que associam, digamos, a lula a qualquer mamífero. E não fará diferença qual mamífero escolhermos, pois todos têm a mesma distância em seu parentesco com a lula.

São previsões teóricas fortes, mas, na prática, não

há razões para que não fossem descumpridas. Se o fossem, haveria evidências contra a evolução. O que efetivamente ocorre, constatamos — com margens de erro estatísticas —, é exatamente o que devemos prever com base na suposição de que houve evolução. Esse é outro modo de dizer que, quando assinalamos as distâncias genéticas entre pares de espécies nos ramos de uma árvore, todos os números obtidos encaixam-se de maneira satisfatória. Obviamente não encontramos cem por cento de exatidão, pois em biologia as previsões numéricas raramente se realizam além de um nível aproximado de acurácia.

Podemos usar evidências da comparação de DNA (ou proteínas) — sob a suposição evolucionária — para determinar quais pares de animais são primos mais próximos entre si do que de outras espécies. O que faz disso uma evidência extremamente eloquente da evolução é o fato de que podemos construir uma árvore de semelhanças genéticas separadamente para cada gene, um por vez. E o resultado importante é que cada gene leva aproximadamente à construção de uma mesma árvore da vida. Mais uma vez, isso é exatamente o que prediríamos se estivéssemos lidando com uma verdadeira árvore de parentesco. Não é o que prediríamos se um criador houvesse analisado todo o reino animal e escolhido — ou "tomado de empréstimo" — as melhores proteínas para o trabalho, onde quer que elas pudessem ser encontradas no reino animal.

O pioneiro estudo em grande escala nessa linha de pesquisa foi obra de um grupo de geneticistas da

Nova Zelândia chefiado pelo professor David Penny. O grupo usou cinco genes que, embora não idênticos em todos os mamíferos, são semelhantes o suficiente para receber o mesmo nome em todos os casos. Os detalhes não são relevantes aqui, mas só para deixar registrado: os cinco genes eram para hemoglobina A, hemoglobina B (as hemoglobinas dão a cor vermelha ao sangue), fibrinopeptídeo A, fibrinopeptídeo B (os fibrinopeptídeos são usados na coagulação do sangue) e citocromo C (que tem papel importante na bioquímica celular). Os cientistas escolheram onze animais para comparar: macaco reso, ovelha, cavalo, canguru, rato, coelho, cão, porco, humano, vaca e chimpanzé.

Penny e seus colegas pensaram estatisticamente. Queriam calcular a probabilidade de que, por puro acaso, duas moléculas resultassem na mesma árvore genealógica se a evolução não fosse verdade. Assim, tentaram imaginar todas as possíveis árvores que pudessem terminar em onze descendentes. O número delas é surpreendentemente grande. Mesmo se nos limitarmos às "árvores binárias" (aquelas cujos ramos apenas se bifurcam, e não se dividem em três ou mais sub-ramos), o número total de árvores possíveis é superior a 34 milhões. Pacientemente, os cientistas examinaram cada uma das 34 milhões de árvores e compararam cada uma com as outras 33.999.999 árvores. Não, obviamente não fizeram isso! Requereria um tempo colossal de computação. O que eles fizeram foi descobrir uma inteligente aproximação

estatística, um atalho equivalente a esse cálculo gigantesco.
Vejamos como funciona o método de aproximação. Os pesquisadores pegaram o primeiro dos cinco genes, digamos, hemoglobina-A (em todos os casos, uso o nome da proteína para representar o gene que codifica a produção dessa proteína). De todos os milhões de árvores, eles queriam descobrir qual era a mais "parcimoniosa" para o caso da hemoglobina-A. Parcimoniosa, aqui, significa "para a qual é preciso postular o mínimo de mudança evolucionária". Por exemplo, todos aqueles milhares de árvores baseadas na suposição de que o primo mais próximo do humano era o canguru enquanto humanos e chimpanzés eram parentes mais distantes revelaram-se árvores nada parcimoniosas: requeriam a suposição de muita mudança evolucionária para se chegar ao resultado de que cangurus e humanos tinham um ancestral comum recente. O veredicto da hemoglobina-A seria:

Esta árvore não tem nada de parcimoniosa. Não só preciso efetuar muito trabalho mutacional para terminar tão diferente em humanos e cangurus apesar do nosso parentesco próximo segundo esta árvore, mas também preciso efetuar muito trabalho mutacional na outra direção para assegurar que, apesar de sua grande separação nesta árvore específica, humanos e chimpanzés tenham, de algum modo, acabado por possuir hemoglobina-A tão semelhante. Voto contra esta árvore.

A hemoglobina-A fornece veredictos desse tipo, alguns mais favoráveis do que outros, para cada uma das 34 milhões de árvores, e finalmente acaba escolhendo algumas dezenas de árvores mais bem classificadas. Sobre essas árvores mais bem classificadas, a hemoglobina-A diz algo como:

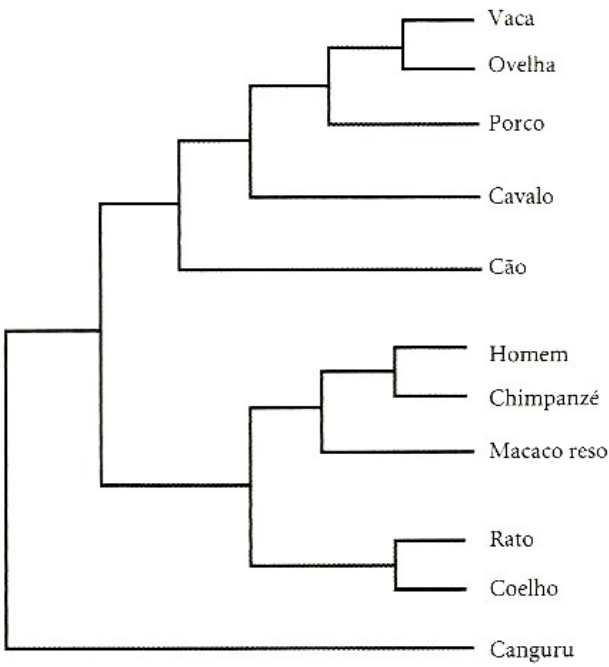
Esta árvore indica humanos e chimpanzés como parentes próximos, ovelhas e vacas como parentes próximas e põe os cangurus em um ramo afastado. Mostra ser uma árvore muito boa, pois exige pouquíssimo trabalho mutacional da minha parte para explicar as mudanças evolucionárias. É uma árvore extraordinariamente parcimoniosa. Ela tem o voto da hemoglobina-A!

Obviamente seria ótimo se a hemoglobina-A, e todos os outros genes, pudessem indicar uma única árvore que fosse a mais parcimoniosa, mas isso é pedir demais. Entre as 34 milhões de árvores, é de se esperar que várias árvores ligeiramente diferentes empatem na competição pelo primeiro lugar na classificação da hemoglobina-A.
E quanto à hemoglobina-B? E ao citocromo-C? Cada uma das cinco proteínas tem direito a seu próprio voto, a apontar sua árvore preferida (ou seja, a mais parcimoniosa) entre os 34 milhões de árvores. Seria perfeitamente possível que o citocromo-C chegasse a um voto totalmente diferente ao apontar a árvore mais parcimoniosa. Poderíamos descobrir que o citocromo-C dos

humanos, na verdade, é muito semelhante ao dos cangurus e muito diferente do de chimpanzés. E, longe de apontar um parentesco próximo entre ovelhas e vacas como o discernido pela hemoglobina-A, o cito-cromo C poderia concluir que quase não precisa sofrer mutação para apontar as ovelhas como muito próximas, digamos, dos macacos, e as vacas, muito próximas dos coelhos. Segundo a hipótese da criação, não há razão para que isso não ocorra. Mas o que Penny e seus colegas realmente constataram foi uma concordância assombrosamente alta entre todas as cinco proteínas (e eles usaram métodos estatísticos ainda mais inteligentes para mostrar quanto seria improvável que uma concordância dessas ocorresse por acaso). Todas as cinco proteínas "votaram" praticamente no mesmo subconjunto de árvores entre os 34 milhões de árvores possíveis. Isso, é claro, é exatamente o que prediríamos com base na suposição de que realmente só existe uma verdadeira árvore para representar as afinidades entre todos os onze animais: a árvore de parentesco, a árvore das relações evolucionárias. E mais: a árvore consensual na qual votaram todas as cinco moléculas revelou-se a mesma que os zoólogos já haviam calculado com base em dados anatômicos e paleontológicos, não moleculares.

O estudo de Penny foi publicado em 1982, um bom tempo atrás. Desde então proliferaram as evidências minuciosas das sequências exatas de genes de numerosas espécies animais e vegetais. Hoje o consenso acerca das árvores mais

parcimoniosas abrange muito mais do que as onze espécies e cinco moléculas que Penny e seus colegas estudaram. O estudo deles foi apenas um exemplo elegante, poderosíssimo graças às suas evidências estatísticas. A soma dos dados de sequenciamento genético hoje disponíveis põe o assunto acima de qualquer dúvida concebível. De modo muito mais convincente até do que a evidência dos fósseis (já altamente convincente), o testemunho dado pelas comparações de genes está convergindo, com rapidez e autoridade, para uma única grande árvore da vida. Na página ao lado vemos uma árvore para as onze espécies do estudo de Penny; ela representa um voto de consenso moderno de muitas partes diferentes do genoma mamífero. É a invariabilidade da concordância entre todos os diversos genes no genoma que nos dá confiança, não só na exatidão histórica da árvore consensual propriamente dita, mas também no fato de que houve evolução.



Árvore de parentesco das onze espécies de Penny

Se a tecnologia da genética molecular continuar a expandir-se no atual ritmo exponencial, por volta do ano 2050 determinar a sequência completa do genoma de um animal será barato e rápido, quase tão fácil quanto medir a temperatura ou a pressão sanguínea. Por que afirmo que a tecnologia genética está se expandindo exponencialmente? É possível medi-la? Existe um paralelo na tecnologia de computadores chamado Lei de Moore. Essa lei, batizada em honra a Gordon Moore, um dos fundadores da fabricante de chips Intel, pode ser expressa de vários modos porque diversas medidas da capacidade de computação são associadas umas às outras. Uma versão da lei diz que o número de unidades que podem ser

armazenadas em um circuito integrado de determinado tamanho duplica a cada período de dezoito meses a dois anos e pouco. É uma lei empírica, o que significa que, em vez de derivar de alguma teoria, ela simplesmente se revela verdadeira quando medimos os dados. Essa lei tem se provado válida há mais ou menos cinqüenta anos, e muitos especialistas acham que continuará a valer pelo menos por mais algumas décadas. Outras tendências exponenciais com semelhante tempo de duplicação, que podem ser consideradas versões da Lei de Moore, incluem o aumento da velocidade de computação e o tamanho da memória por custo unitário. As tendências exponenciais sempre levam a resultados surpreendentes, como Darwin demonstrou quando, com a ajuda de seu filho George, que era matemático, usou o elefante como exemplo de animal de reprodução lenta e mostrou que, em apenas alguns séculos de crescimento exponencial irrestrito, os descendentes de apenas um par de elefantes cobririam toda a superfície da Terra. Não é preciso dizer que, na prática, o crescimento da população de elefantes não é exponencial. Ele é limitado pela competição por alimento e espaço, pelas doenças e muitos outros fatores. E era aí que Darwin queria chegar, pois é onde a seleção natural entra em cena.

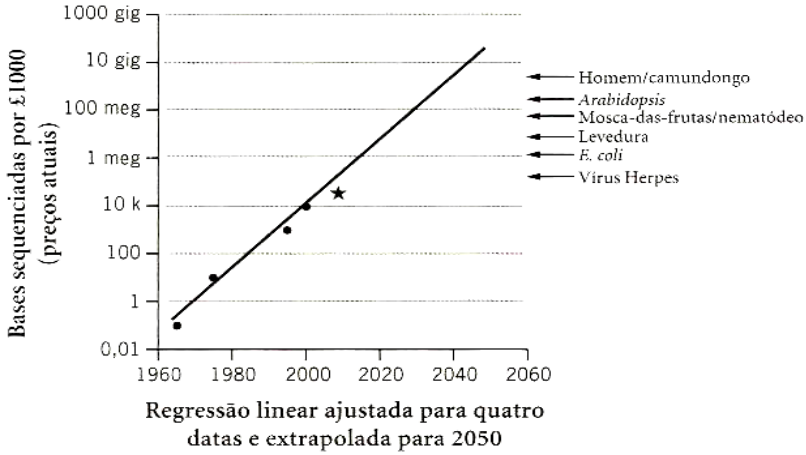
Mas a Lei de Moore permanece válida, ao menos aproximadamente, há cinquenta anos. Embora ninguém saiba muito claramente o porquê, várias medidas da capacidade de computação cresceram

exponencialmente na prática, enquanto a tendência dos elefantes de Darwin, que era exponencial, cresce apenas em teoria. Ocorreu-me que poderia haver uma lei semelhante valendo para a tecnologia genética e o sequenciamento de DNA. Sugeri isso a lonathan Hodgkin, professor de genética na Universidade de Oxford (que foi meu aluno de graduação). Para minha empolgada surpresa, eleja havia pensado exatamente nisso — e feito a medição, em preparação para uma conferência que apresentaria na faculdade onde fora aluno. Ele estimou o custo de sequenciar um trecho padrão de DNA em quatro datas da história: 1965,1975, 1995 e 2000. Inverti seus números para saber "quanto o dinheiro compra": quanto DNA poderíamos sequenciar por mil libras? Plotei os dados em escala logarítmica, escolhida porque uma tendência exponencial sempre aparece em linha reta quando seus dados são representados em escala logarítmica. Dito e feito: os quatro pontos de Hodgkin incidem satisfatoriamente em uma linha reta. Ajustei uma linha aos pontos (para a técnica de regressão linear, veja nota na p. 110) e depois tomei a liberdade de fazer uma projeção futura. Mais recentemente, quando este livro estava indo para o prelo, mostrei esta seção ao professor Hodgkin, e ele me informou os dados mais atuais de que tinha conhecimento: o genoma do ornitorrinco, que foi sequenciado em 2008 (esse animal foi uma boa escolha, devido à sua posição estratégica na árvore da vida: o ancestral que ele tem em comum conosco viveu há 180 milhões de anos, quase três vezes mais que o

tempo decorrido desde a extinção dos dinossauros). Marquei o ponto que representa o ornitorrinco com uma estrela no gráfico, e podemos ver que ele se situa bem próximo da linha projetada que foi calculada com base nos dados mais antigos.

A inclinação da linha dada pela que agora chamo (sem permissão) de Lei de Hodgkin é apenas ligeiramente menor que a obtida pela Lei de Moore. O tempo de duplicação é pouco mais de dois anos, enquanto o tempo de duplicação pela Lei de Moore é pouco menos de dois anos. A tecnologia para lidar com dados de DNA é intensivamente dependente de computadores, por isso podemos apostar que a Lei de Hodgkin é, ao menos parcialmente, dependente da Lei de Moore. As setas à direita indicam o tamanho do genoma de várias criaturas. Se acompanharmos a seta para a esquerda até que ela atinja a linha inclinada da Lei de Hodgkin, podemos ler uma estimativa de quando será possível sequenciar um genoma do mesmo tamanho que o da criatura em questão por apenas £1000 (em valores correntes). Para um genoma do tamanho do da levedura, só precisamos esperar até 2020 mais ou menos. Para um novo genoma de mamífero (no que diz respeito a esse tipo de cálculo simplificado, todos os mamíferos são igualmente caros), a data estimada situa-se pouco antes de 2040. É uma perspectiva fascinante: um imenso banco de dados de sequências de DNA, obtidos com facilidade e a baixo custo de todos os cantos dos reinos animal e vegetal. Detalhadas comparações de DNA

preencherão todas as lacunas em nosso conhecimento sobre o verdadeiro parentesco evolucionário de cada espécie com cada outra: conheceremos, com total certeza, toda a árvore de parentesco de todos os seres vivos. O duro é saber como iremos representar isso num gráfico: não irá caber em nenhuma folha de papel manuseável.



Regressão linear ajustada para quatro datas e extrapolada para 2050

"Lei de Hodgkin"

Até o presente, a tentativa em maior escala nesse sentido provém de um grupo associado com David Hillis, irmão de Danny Hillis, o pioneiro de um dos supercomputadores. A representação gráfica de Hillis deixa o diagrama em árvore mais compacto, enrolando-o em círculo. Não podemos ver a lacuna onde as duas extremidades quase se encontram, mas ela está situada entre as "bactérias" e as "arqueias". Para ver como funciona o gráfico circular, observe a versão muito simplificada que foi tatuada nas costas de Clare D'Alberto, uma

estudante de pós-graduação da Universidade de Melbourne cujo entusiasmo pela zoologia está mais do que à flor da pele. Ela fez a gentileza de permitir-me reproduzir a fotografia neste livro (ver página em cores 25). A tatuagem de Clare inclui uma pequena amostra de 86 espécies (o número de raminhos terminais). Podemos ver a lacuna no traçado circular e imaginar o círculo todo aberto. O número menor de ilustrações na borda é estrategicamente escolhido entre bactérias, protozoários, plantas, fungos e quatro filos de mamíferos. Os vertebrados são representados pelo dragão-marinho-comum à direita, um surpreendente peixe que obtém proteção graças à sua semelhança com algas marinhas. O gráfico circular de Hillis é o mesmo, só que representa 3 mil espécies. Seus nomes estão grafados na borda do círculo ao lado, em caracteres demasiado pequenos para serem lidos — embora convenientemente o Homo sapiens esteja indicado pela expressão "Você está aqui". Pode-se ter uma ideia do quanto essa amostragem da árvore é esparsa, mesmo nesse gráfico enorme, sabendo-se que os parentes mais próximos dos humanos que cabem nesse círculo são ratos e camundongos.

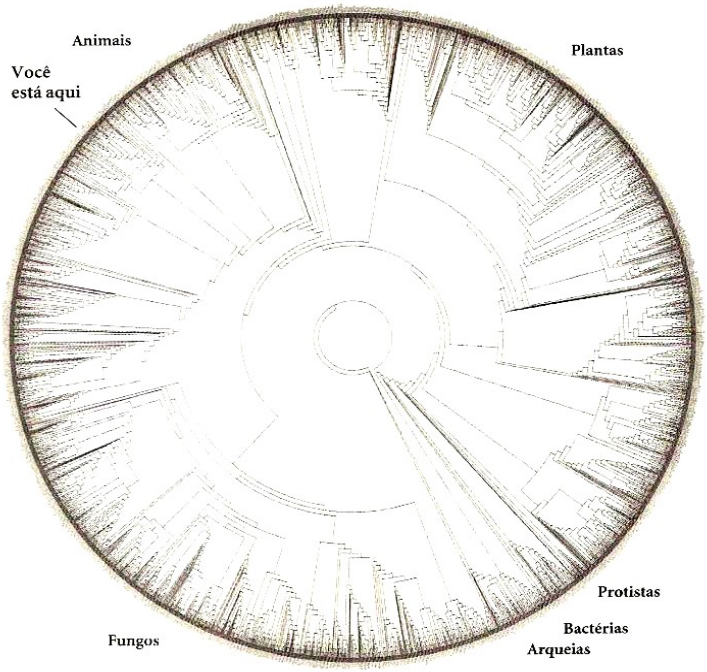


Gráfico de Hillis

Os mamíferos tiveram de ser drasticamente enxugados para que pudessem ser representados com a mesma profundidade dos demais ramos da árvore. Imagine, então, se tentássemos representar graficamente uma árvore semelhante com 10 milhões de espécies em vez das 3 mil aqui incluídas. E 10 milhões não é a estimativa mais ousada do número de espécies sobreviventes. Vale a pena baixar a árvore do site de Hillis e imprimi-la para pendurar na parede, num pedaço de papel que, segundo recomendação, deve ter pelo menos 137 centímetros de largura (se for maior, melhor).

O RELÓGIO MOLECULAR

Agora que estamos falando de moléculas, temos

um assunto deixado inconcluso no capítulo sobre os relógios evolucionários. Tratamos ali dos anéis de árvores e de vários tipos de relógio radioativo, mas postergamos as considerações sobré o chamado relógio molecular para quando já houvéssemos aprendido alguns outros aspectos da genética molecular. Chegou a hora: veja esta seção como um apêndice do capítulo sobre os relógios.

O relógio molecular supõe que a evolução é verdade e que ocorre a um ritmo suficientemente constante através do tempo geológico para ser, ela própria, usada como um relógio, desde que seja possível calibrá-la usando fósseis, os quais, por sua vez, são calibrados com relógios radioativos. Assim como um relógio de vela supõe que as velas queimam-se a uma taxa fixa e conhecida, um relógio d'água supõe que a água escoa-se de um balde a uma taxa que pode ser calibrada, e um relógio do tipo carrilhão supõe que um pêndulo oscila a um ritmo fixo, também o relógio molecular supõe que existem certos aspectos da própria evolução que ocorrem a um ritmo lixo. Essa taxa fixa pode ser calibrada com base nas partes do registro evolucionário que são bem documentadas com fósseis (datáveis radioativamente). Uma vez calibrado, o relógio molecular pode então ser usado para outras partes da evolução que não sejam bem documentadas por fósseis. Por exemplo, podemos usá-lo para animais que não possuem esqueleto duro e raramente se fossilizam.

A idéia é boa, mas o que nos dá o direito de prever

que poderemos encontrar processos evolucionários que ocorrem a um ritmo fixo? Aliás, muitos dados sugerem que a marcha evolucionária é bastante variável. Bem antes da era moderna da biologia molecular, J. B. S. Haldane propôs o darwin como medida das velocidades evolucionárias. Suponhamos que, no decorrer do tempo evolucionário, alguma característica medida de um animal muda numa direção invariável. Por exemplo, digamos que o comprimento médio da perna aumenta. Se, ao longo de 1 milhão de anos, o comprimento da perna aumentar por um fator *e* (2,718..., um número escolhido por razões de conveniência matemática que não precisamos detalhar), dizemos que a taxa de mudança evolucionária é de 1 darwin. O próprio Haldane calculou que a taxa de evolução do cavalo é de aproximadamente quarenta milidarwins, e sugeriu-se que a evolução de animais domésticos sob seleção artificial deveria ser medida em kilodarwins. A taxa de evolução de lebistes transplantados para um rio livre de predadores, como descrito no capítulo 5, foi estimada em 45 kilodarwins. A evolução de "fósseis vivos", como o Lingula (página 137), provavelmente deve ser medida em microdarwins. Você já entendeu: os ritmos da evolução de coisas que podemos ver e medir, como pernas e bicos, variam imensamente.

Se as taxas de evolução variam tanto, como podemos ter esperança de usá-las como relógio? É aqui que a genética molecular vem em socorro. À primeira vista, não está claro como isso pode ser

feito. Quando ocorre evolução em características mensuráveis como o comprimento da perna, o que vemos é a manifestação externa e visível de uma mudança genética básica. Então como é que taxas de mudança no nível molecular fornecem um bom relógio enquanto as taxas de evolução da perna ou da asa não? Se pernas e bicos sofrem mudança a velocidades que variam de microdarwins a kilodarwins, por que moléculas seriam mais confiáveis como relógio? A resposta é que as mudanças genéticas que se manifestam na evolução exterior e visível — de coisas como pernas e braços — são uma ínfima ponta do iceberg, a ponta que é fortemente influenciada pelas variações da seleção natural. A maior parte da mudança genética que ocorre no nível das moléculas é neutra, portanto podemos prever que ela acontece a um ritmo que independe da utilidade e pode até ser aproximadamente constante no âmbito de um dado gene. Uma mudança genética neutra não tem efeito sobre a sobrevivência do animal, e essa é uma credencial útil para um relógio. Isso porque genes que afetam a sobrevivência, de modo positivo ou negativo, presumivelmente evoluem a uma taxa que é mutável porque reflete esses efeitos na sobrevivência.

Quando a teoria neutra da evolução molecular foi proposta pela primeira vez, entre outros pelo grande geneticista japonês Motoo Kimura, ela era polêmica. Hoje muitos aceitam alguma versão dessa teoria, e, sem esmiuçar as evidências aqui, irei aceitá-la neste livro. Dada a minha reputação

de "arquiadaptacionista" (alegadamente obcecado pela seleção natural como a principal e até única força propulsora da evolução), o leitor pode ter confiança de que, se até eu apoio a teoria neutra, é improvável que muitos outros biólogos oponham-se a ela!

Mutação neutra é aquela que, embora facilmente mensurável por técnicas da genética molecular, não é sujeita à seleção natural, nem de modo positivo, nem de modo negativo. Os "pseudogenes" são neutros por um tipo de razão. São genes que em algum momento já fizeram algo útil, mas agora estão de lado, nunca sendo transcritos ou traduzidos. Não faria diferença se eles não existissem, no que diz respeito ao bem-estar geral do animal. Mas para o cientista eles existem, sim, e são exatamente o que é preciso para se ter um relógio evolucionário. Os pseudogenes são apenas uma classe daqueles genes que nunca são traduzidos na embriologia. Há outras classes que os cientistas preferem para uso como relógio molecular, mas não entrarei em detalhes. Os pseudogenes são úteis para embaraçar os criacionistas. Nem todo o engenho criativo dessa gente é capaz de atinar com alguma razão convincente que explique por que, afinal de contas, um criador inteligente haveria de criar um pseudogene — um gene que não faz absolutamente nada e tem toda a aparência de ser uma versão aposentada de um gene que já fez alguma coisa no passado —, a menos que o criador estivesse deliberada-mente a fim de nos enganar.

Deixando de lado os pseudogenes, é um fato notável que a maior parte do genoma (95%, no caso dos humanos) poderia muito bem não existir, pela diferença que faz. A teoria neutra aplica-se até a muitos dos genes pertencentes aos outros 5% — aqueles que são lidos e usados. Aplica-se até a genes que são totalmente vitais para a sobrevivência. Tenho de ser claro aqui. Não estamos dizendo que um gene ao qual se aplica a teoria neutra não tem efeito no corpo. O que estamos dizendo é que uma versão mutante do gene tem exatamente o mesmo efeito que a versão que não sofreu mutação. Por mais importante ou desimportante que o próprio gene possa ser, a versão mutada tem o mesmo efeito da versão não mutada. Ao contrário dos pseudogenes, em que o próprio gene pode ser adequadamente descrito como neutro, agora estamos falando em casos nos quais são apenas as mutações (isto é, as mudanças nos genes), e não os genes em si, que podem, rigorosamente, ser descritas como neutras.

Mutações podem ser neutras por várias razões. O código do DNA é um "código degenerado". Esse termo técnico significa que algumas "palavras" do código são sinônimos exatos uma da outra. Quando um gene sofre mutação para um dos seus sinônimos, poderíamos nem mesmo nos dar ao trabalho de chamar isso de mutação. Na verdade, não é mutação, no que diz respeito às consequências sobre o corpo. E pela mesma razão não é mutação nenhuma no que diz respeito à seleção natural. No entanto, é uma mutação para

os geneticistas moleculares, pois eles podem vê-la usando seus métodos. É como se eu mudasse a fonte com a qual escrevo uma palavra, por exemplo, canguru, para canguru. Ainda se pode ler a palavra, e ela ainda significa o mesmo animal saltador da Austrália. A mudança da fonte, de Times New Roman para Bank Gothic é detectável, mas não faz diferença para o sentido.

Nem todas as mutações neutras são assim tão neutras. Às vezes o novo gene traduz-se em uma proteína diferente, mas o "sítio ativo" da nova proteína (lembre-se daquelas "reentrâncias" de formas precisas que vimos no capítulo 8) permanece igual ao antigo. Em consequência, não há absolutamente efeito algum sobre o desenvolvimento embriônico do corpo. As formas mutada e não mutada do gene ainda são sinônimas no que respeita a seus efeitos sobre os corpos. Também é possível (embora "ultradarwinistas" como eu não sejam inclinados a aceitar essa idéia) que algumas mutações realmente mudem o corpo, porém de um modo que não tem efeito sobre a sobrevivência, num sentido ou no outro.

Portanto, resumindo a teoria neutra, dizer que um gene ou uma mutação é "neutro" não significa necessariamente que esse gene em si seja inútil. Ele pode ter importância vital para a sobrevivência do animal. O que significa é que a forma mutada de um gene — que pode ser ou não importante para a sobrevivência — não é diferente da forma não mutada no que diz respeito a seus efeitos (os quais podem ser importantíssimos) sobre a

sobrevivência. Acontece que provavelmente é válido dizer que a maioria das mutações é neutra. Elas são indetectáveis pela seleção natural, mas detectáveis pelos geneticistas moleculares; e essa é uma combinação ideal para um relógio molecular.

Nada disso deprecia a sumamente importante ponta do iceberg — a minoria das mutações que não são neutras. São elas que, na evolução de melhoramentos, são selecionadas positiva ou negativamente. São aquelas cujos efeitos nós realmente vemos — e que a seleção natural também "vê". São aquelas cuja seleção provoca a avassaladora ilusão de que os seres foram projetados. Mas é o resto do iceberg, as mutações neutras, a maioria, que nos interessa quando falamos em relógio molecular.

No decorrer do tempo geológico, o genoma está sujeito a uma chuva de atrição em forma de mutações. Na pequena porção do genoma onde as mutações realmente fazem diferença para a sobrevivência, a seleção natural logo se livra das mutações ruins e favorece as boas. As mutações neutras, por outro lado, simplesmente se acumulam, impunes, despercebidas — exceto para os geneticistas moleculares. E agora precisamos usar um novo termo técnico: fixação. Uma nova mutação, se for genuinamente nova, terá baixa frequência no reservatório gênico. Se reexaminarmos o reservatório gênico 1 milhão de anos depois, é possível que a mutação tenha aumentado de frequência para 100% ou algo próximo disso. Quando isso ocorre, dizemos que a

mutação foi "fixada". Não mais pensamos nela como uma mutação. Ela agora é a regra. O modo óbvio de uma mutação ser fixada é ser favorecida pela seleção natural. Mas há outro modo. A fixação pode ocorrer por acaso. Assim como um sobrenome outrora eminente pode morrer por falta de herdeiros do sexo masculino, também as alternativas à mutação da qual estamos falando podem desaparecer por acaso do reservatório gênico. A própria mutação pode tornar-se frequente no reservatório gênico tão fortuitamente quanto o nome "Smith" emergiu como o sobrenome mais comum na Inglaterra. Obviamente é muito mais interessante se o gene for fixado por alguma boa razão — isso é seleção natural —, mas também pode ocorrer a fixação por acaso, dado um número suficientemente elevado de gerações. E o tempo geológico é vasto o bastante para que mutações neutras sejam fixadas a um ritmo previsível. A taxa à qual isso ocorre varia, mas é característica para genes específicos e, como a maioria das mutações é neutra, é exatamente isso que possibilita o relógio molecular.

É a fixação que importa para o relógio molecular, pois os genes "fixados" são aqueles que examinamos quando comparamos dois animais modernos e tentamos estimar há quanto tempo seus ancestrais se separaram. Genes fixados são os genes que caracterizam uma espécie. São aqueles que são quase universais no reservatório gênico. E podemos comparar os genes que se fixaram em uma espécie com os genes que se

fixaram em outra a fim de estimar há quanto tempo as espécies se separaram. Há complicações que não esmiuçarei aqui porque Yan Wong e eu as expusemos pormenorizadamente em "Epílogo do conto do verme aveludado". Com ressalvas e vários fatores de correção importantes, o relógio molecular funciona.

Assim como relógios radioativos marcham a velocidades imensamente variáveis, com meias-vidas que variam de frações de segundo a dezenas de bilhões de anos, também os diferentes genes fornecem uma maravilhosa variedade de relógios moleculares, adequados para indicar o ritmo da mudança evolucionária em escalas que vão de 1 milhão a 1 bilhão de anos e todos os estágios intermediários. Assim como cada isótopo radioativo tem sua meia-vida característica, cada gene tem uma taxa de turnover característica — a taxa à qual novas mutações tipicamente são fixadas aleatoriamente. O turnover dos genes da histona caracteristicamente se dá à taxa de uma mutação a cada 1 bilhão de anos. Os genes de fibrinopeptídeo são mil vezes mais rápidos, com um turnover áe, uma nova mutação fixada a cada 1 milhão de anos. Os genes do citocromo-C e o conjunto dos genes da hemoglobina têm turnovers intermediários, com tempo de fixação medido em milhões a dezenas de milhões de anos.

Nem os relógios radioativos nem os moleculares têm um tique-taque regular como o de um relógio de pêndulo ou de pulso. Se pudéssemos ouvir seu tique-taque, eles soariam como um contador Geiger, e os relógios radioativos mais do que

todos, pois o contador Geiger é justamente o que usaríamos para ouvi-los. Um contador Geiger não tem um tique-taque regular como o de um relógio de pulso; ele tiquetaqueia aleatoriamente, em estranhas rajadas gaguejantes. É assim que as mutações e as fixações soariam se pudéssemos ouvi-las na imensamente longa escala temporal da geologia. Mas, seja gaguejando como um contador Geiger, seja tiquetaqueando metronomicamente como um relógio de pulso, o importante em um marcador de tempo é que ele tiquetaqueie a um ritmo médio conhecido. É isso que fazem os relógios radioativos, e que faz também um relógio molecular.

Introduzi o relógio molecular dizendo que ele supõe o fato da evolução e, portanto, não pode ser usado como evidência para comprová-la. Mas agora, tendo compreendido como o relógio funciona, podemos ver que eu fui pessimista demais. A própria existência de pseudogenes — genes inúteis, não transcritos, que têm marcante semelhança com genes úteis — é um exemplo perfeito do modo como animais e plantas têm sua história escrita em todo o seu corpo. Mas esse é um tema que precisa esperar pelo próximo capítulo.

11. A História escrita em todo o nosso corpo

Comecei este livro imaginando um professor de latim forçado a desperdiçar seu tempo e energia para defender a proposição de que os romanos e

sua língua existiram. Voltemos a esse tema e perguntemos quais são, de fato, as evidências de que o Império Romano e o latim existiram. Vivo na Grã-Bretanha, onde, como no resto da Europa, Roma deixou sua assinatura por todo o mapa, esculpiu seus caminhos na paisagem, entrelaçou sua língua na nossa e sua história em nossa literatura. Ande ao longo de toda a Muralha de Adriano, que os moradores próximos ainda preferem chamar de "Muralha Romana". Caminhe, como fiz domingo após domingo em fila dupla, do meu internato na (relativamente) recente Salisbury até o forte romano de sílex em Old Sarum, e comungue com imaginados fantasmas de legiões mortas. Abra um mapa da Inglaterra. Onde quer que você veja uma longa estrada interiorana retilínea, especialmente se houver interrupções de campos verdes entre trechos de estrada ou trilhas de carroça que você pode alinhar exatamente com uma régua, e quase sempre encontrará uma placa com um nome romano para a estrada. Temos vestígios do Império Romano por toda parte.

Também os seres vivos trazem a história escrita em todo o corpo. São repletos de equivalentes biológicos das estradas, muralhas, monumentos, cacos de cerâmica e até inscrições antigas romanas, tudo esculpido no DNA vivo, pronto para ser decifrado por estudiosos.

Quando sentimos frio ou muito medo, ou quando nos fascinamos com a incomparável maestria de um soneto de Shakespeare, ficamos arrepiados. Por quê? Porque nossos ancestrais foram mamíferos normais, com pelos no corpo todo, os

quais subiam ou baixavam sob o comando de termostatos sensitivos. Se fizesse muito frio, os pelos se eriçavam para aumentar a camada de ar isolante capturada entre os pêlos. Se esquentasse muito, a pelagem baixava para permitir que o calor corporal escapasse mais facilmente. Em evolução posterior, o sistema de ereção de pelos foi sequestrado para a finalidade da comunicação social e passou a participar da expressão das emoções. Darwin foi um dos primeiros a examiná-la, no livro que ele intitulou A expressão das emoções nos homens e nos animais. Não resisto a compartilhar algumas linhas — Darwin vintage — extraídas desse livro:

O sr. Sutton, o inteligente zelador do jardim zoológico, observou cuidadosamente para mim os chimpanzés e orangotangos; ele afirma que quando eles se assustam, com uma tempestade de trovões, por exemplo, ou quando estão com raiva por serem provocados, seus pelos ficam eretos. Vi um chimpanzé assustar-se com um carregador de carvão e seu pelo arrepiou-se por todo o corpo. [...] Levei uma cobra empalhada para o compartimento e o pelo de muitas das espécies ficou instantaneamente arrepiado. [...] Quando mostrei uma cobra empalhada para um pecari, seu pêlo arrepiou-se de maneira impressionante no dorso; e assim também acontece com o javali quando enfurecido.

Pêlos ou penas do pescoço eriçam-se quando o animal se enfurece. Também quando ele sente

medo, os pêlos se arrepiam a fim de aumentar o tamanho aparente do corpo e amedrontar rivais ou predadores perigosos. Até nós, macacos nus, ainda possuímos o mecanismo para eriçar pelos inexistentes (ou ralos), e dizemos que ficamos com a "pele arrepiada". O mecanismo eretor de pêlos é um vestígio, uma relíquia não funcional de algo que fazia um trabalho útil para nossos ancestrais há muito tempo mortos. Os pêlos vestigiais estão entre os muitos exemplos de história escrita em nós. Eles constituem persuasiva evidência de que ocorreu evolução, e essa evidência também provém não de fósseis, mas de animais modernos.

Como vimos no capítulo anterior, quando comparei o golfinho a um peixe de tamanho equivalente como o dourado, não precisamos examinar um golfinho muito profundamente para descobrir sua história de vida em terra firme. Apesar de seu exterior hidrodinâmico parecido com o de um peixe, e a despeito do fato de que hoje ele vive totalmente no mar e morre depressa se encalhar na praia, o golfinho, mas não o dourado, tem "mamífero terrestre" escrito em toda a sua urdidura. Possui pulmões e não guelras, e se afogará como qualquer animal terrícola se for impedido de subir à superfície para respirar, embora seja capaz de prender a respiração por muito mais tempo do que um animal de terra firme. Nos mais variados aspectos, seu mecanismo para respirar mudou de modo a adequar-se ao mundo aquático. Em vez de respirar por duas pequenas narinas na ponta do nariz como qualquer mamífero terrestre normal, o golfinho

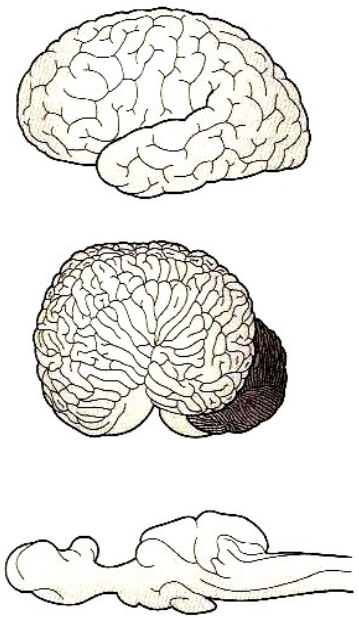
tem uma única narina no topo da cabeça, que lhe permite respirar aflorando apenas ligeiramente à superfície. Esse "espiráculo" possui uma válvula que se fecha hermeticamente para impedir a entrada de água e um orifício amplo para minimizar o tempo necessário para inspirar. Em uma comunicação feita em 1845 à Royal Society, que Darwin, como membro, muito provavelmente terá lido, Francis Sibson Esq. escreveu: "Os músculos que abrem e fecham o espiráculo, e que atuam sobre os vários sacos, formam um dos mais complexos e no entanto mais primorosamente ajustados mecanismos que tanto a natureza como a arte apresentam". O espiráculo do golfinho desdobra-se para corrigir um problema que nunca teria surgido se o animal respirasse por guelras, como um peixe. E muitos dos detalhes do espiráculo podem ser vistos como correções de problemas secundários que apareceram quando o ar inspirado migrava das narinas para o topo da cabeça. Um verdadeiro designer teria planejado o espiráculo no topo da cabeça logo de saída — isso se ele não houvesse decidido abolir os pulmões e preferir guelras mesmo. Por todo este capítulo encontraremos continuamente exemplos nos quais a evolução corrige um "erro" inicial ou uma relíquia histórica com alguma compensação ou ajuste *post hoc*, em vez de voltar à prancheta como um verdadeiro designer faria. De qualquer modo, a elaborada e complexa entrada do espiráculo já é um eloquente testemunho de que os ancestrais remotos do golfinho viveram em terra firme.

De inúmeros outros modos, pode-se dizer que os golfinhos e as baleias têm sua história antiga escrita por todo o corpo, interna e externamente, como os vestígios de estradas romanas que se revelam nas desusadas trilhas retas de carroças e cavalos por todo o mapa da Inglaterra. As baleias não têm pernas na parte posterior do corpo, mas possuem pequenos ossos, profundamente embutidos, que são vestígios da cintura pélvica e das pernas posteriores de seus ancestrais que andaram em terra firme num passado remoto. O mesmo se aplica aos sirênios ou vacas-marinhas (já os mencionei várias vezes: os manatis, dugongos e a vaca-marinha-de-steller, que tinha quase oito metros de comprimento e foi caçada até a extinção por humanos). Os sirênios são muito diferentes das baleias e dos golfinhos, mas constituem o único outro grupo de mamíferos inteiramente marinhos que nunca vão a terra firme. Enquanto os golfinhos são carnívoros velozes e ativamente inteligentes, os manatis e dugongos são herbívoros lentos e pacatos. No aquário de manatis que visitei no oeste da Flórida, singularmente não me enfureci com a música que saía dos alto-falantes. Era uma sonolenta música de elevador, e parecia tão languidamente apropriada que tudo era perdoado. Os manatis e dugongos flutuavam sem esforço em equilíbrio hidrostático, não por meio de bexiga natatória como um peixe (ver ao lado), mas graças a pesados ossos que atuam como contrapeso à natural flutuabilidade de sua gordura corporal. Sua gravidade específica, assim, é muito próxima da

da água, e eles podem fazer ajustes finos contraindo ou expandindo a caixa torácica. A precisão do controle da flutuabilidade é intensificada pela existência de uma cavidade separada para cada pulmão: eles possuem dois diafragmas.

Golfinhos e baleias, dugongos e manatis, dão à luz crias vivas, como todos os mamíferos. Esse hábito não é exclusivo dos mamíferos. Muitos peixes têm crias vivas, mas o nascimento se dá de um modo muito diferente (na verdade, em uma fascinante variedade de modos muito distintos, que sem dúvida evoluíram independentemente). A placenta do golfinho é inconfundivelmente mamífera, assim como o hábito de amamentar a cria com leite. O cérebro desse animal é também, sem sombra de dúvida, um cérebro de mamífero, e de um mamífero avançadíssimo. O córtex cerebral de um mamífero é uma lâmina de matéria cinzenta que reveste a área externa do cérebro. Ganhar um cérebro mais avantajado consiste, em parte, em aumentar a área da lâmina. Isso pode ser feito mediante um crescimento do tamanho total do cérebro e do crânio que o abriga. Mas há desvantagens na posse de um crânio grande. Para começar, ele dificulta o parto. Em consequência, mamíferos de cérebro avantajado dão um jeito de aumentar a área da lâmina mantendo-se nos limites estabelecidos pelo crânio, e fazem isso amarrotando toda a lâmina em profundas dobras e fissuras. É por isso que o cérebro humano lembra uma noz, e os cérebros do golfinho e da baleia são os únicos que rivalizam em amarfanhamento com

os dos grandes primatas, incluindo o nosso. Os cérebros de peixes não têm ruga nenhuma. Aliás, peixes não têm córtex cerebral, e o cérebro todo é minúsculo em comparação com o de um golfinho ou o de um humano. A história mamífera do golfinho está profundamente entalhada na enrugada superfície de seu cérebro. É parte da sua condição de mamífero, juntamente com a placenta, o leite, o coração de quatro câmaras, a mandíbula com um único osso, o sangue quente e muitas outras características especificamente mamíferas.



Cérebros de humano (em cima), golfinho (no meio) e truta (embaixo)
(fora de escala)

Dizemos que os mamíferos e as aves têm sangue quente, mas na realidade o que eles têm é a capacidade de manter sua temperatura constante,

independentemente da temperatura externa. Essa é uma boa ideia, pois assim as reações químicas em uma célula podem ser todas otimizadas para funcionar melhor a uma temperatura específica. Os animais de "sangue frio" não são necessariamente frios. Um lagarto tem o sangue mais quente que o de um mamífero se ambos estiverem expostos ao sol do meio-dia no deserto do Saara. E um lagarto tem sangue mais frio que o de um mamífero se ambos estiverem na neve. O mamífero tem a mesma temperatura sempre, e precisa de muito esforço para mantê-la constante, usando mecanismos internos. Os lagartos usam meios externos para regular sua temperatura: expõem-se ao sol quando precisam se aquecer e procuram a sombra quando precisam se resfriar. Os mamíferos regulam sua temperatura corporal de modo mais preciso, e os golfinhos não são exceção. Mais uma vez, sua história mamífera está escrita em seu corpo, apesar de eles terem voltado a viver no mar, onde a maioria dos habitantes não mantém uma temperatura constante.

ASAS PERDIDAS

O corpo de baleias e sirênios é rico em relíquias históricas que notamos porque eles vivem em um meio muito diferente do de seus ancestrais terrícolas. Um princípio semelhante aplica-se a aves que perderam o hábito e o equipamento do voo. Nem todas as aves voam, mas todas possuem pelo menos relíquias do equipamento para voar. O

avestruz e o casuar são corredores velozes que nunca voam, mas possuem tocos de asas que são um legado de seus remotos ancestrais voadores. Os tocos de asas do avestruz, aliás, não perderam totalmente a utilidade. Embora sejam pequenos demais para permitir o vôo, eles parecem ter algum tipo de papel no equilíbrio e na direção durante a corrida, além de participarem de exibições sociais e sexuais. As asas do quivi são pequenas demais para ser vistas fora da fina plumagem da ave, mas possuem vestígios de ossos. O moa perdeu totalmente as asas. A propósito, sua terra natal, a Nova Zelândia, abriga uma fatia desproporcionalmente grande de aves que não voam, provavelmente porque a ausência de mamíferos deixou nichos vagos, a serem preenchidos por qualquer criatura que pudesse chegar até lá voando. Mas esses pioneiros voadores que chegaram alados perderam posteriormente as asas conforme foram preenchendo os lugares vagos de mamíferos no chão. Isso provavelmente não se aplica aos moas, cujos ancestrais por acaso já não voavam antes que o grande continente meridional de Gondwana se dividisse em fragmentos, entre os quais a Nova Zelândia, cada qual levando sua carga de mamíferos gondwanenses. E seguramente se aplica aos kakapos, papagaios neozelandeses que não voam, cujos ancestrais voadores parecem ter vivido tão recentemente que os kakapos ainda tentam voar mesmo sem possuir o equipamento necessário. Nas palavras do imortal Douglas Adams em Last chance to see, o kakapo

É uma ave gordíssima. Um adulto de bom tamanho pesa cerca de dois a três quilos e suas asas só servem para que ele possa sacudir-se um pouquinho se pensar que vai tropeçar em algo. Mas voar está completamente fora de questão. Infelizmente, porém, parece eme não só o kakapo esqueceu como se voa, mas também não se lembra de que esqueceu como se voa. Às vezes um kakapo dá a impressão de estar seriamente preocupado, sobe correndo numa árvore, salta lá de cima, voa como um tijolo e se estatela feito uma trouxa no chão.

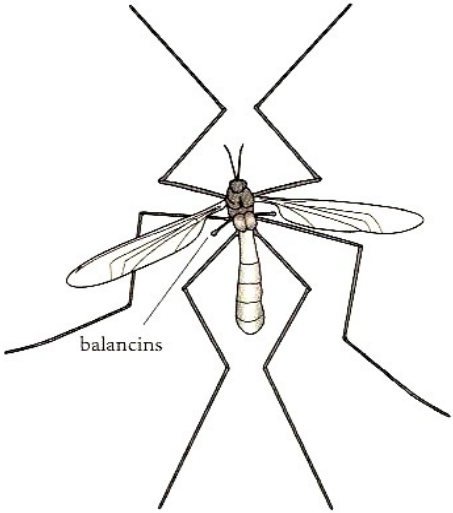
Enquanto o avestruz, o casuar e a ema são grandes corredores, o pinguim e o cormorão-das-galápagos, que não voam, são grandes nadadores. Tive o privilégio de nadar com um cormorão não voador numa grande lagoa entre rochas na ilha de Isabela, e fascinei-me com a velocidade e agilidade com que ele ia de uma fenda submarina a outra, mantendo-se submerso por um tempo assombrosamente longo (eu tinha a vantagem de usar um snorkel). Em contraste com o pinguim, que usa suas asas curtas para "voar debaixo d'água", os cormorões-das-galápagos propelem-se com fortes pernas e grandes pés palmados, usando as asas apenas como estabilizadores. Mas todas as aves que não voam, inclusive o avestruz e seus parentes, que perderam as asas há muito tempo, claramente descendem de ancestrais que as usavam para voar. Nenhum observador sensato poderia duvidar realmente disso, o que significa

que qualquer pessoa que pense a respeito achará muito difícil — e por que não impossível? — duvidar do fato da evolução.

Numerosos e diversificados grupos de insetos também perderam as asas ou as reduziram substancialmente. Em contraste com insetos que primitivamente não possuíam asas, como as traças dos livros, a pulga e o piolho perderam as asas que seus ancestrais um dia tiveram. A fêmea da mariposa-europeia (Lymantria dispar) tem os músculos das asas subdesenvolvidos e não voa. Não precisa, pois o macho voa até ela, atraído por uma isca química que ele é capaz de detectar em diluições assombrosas. Se as fêmeas se movessem tão bem quanto os machos, o sistema provavelmente não funcionaria, pois quando o macho chegasse voando até o gradiente químico, que se dissipa lentamente, sua emissora já teria se afastado do local!

Em contraste com a maioria dos insetos, que têm quatro asas, as moscas, como indica seu nome latino, Diptera, têm apenas duas. O segundo par de asas reduziu-se a um par de "balancins" ou "halteres", que oscilam como velozes maças de ginástica, com as quais eles se parecem, e funcionam como minúsculos giroscópios. Como sabemos que os balancins descendem de asas ancestrais? Há várias razões. Eles ocupam exatamente o mesmo lugar, no terceiro segmento do tórax, que a asa voadora ocupa no segundo segmento torácico (e também no terceiro em outros insetos). Movem-se no mesmo padrão que as asas das moscas, traçando um "oito". Têm a

mesma embriologia das asas e, embora sejam minúsculos, se observarmos atentamente, em especial durante seu desenvolvimento, veremos que são asas que não cresceram, claramente modificadas — a menos que você seja um negador da evolução — de asas ancestrais. Atestando a mesma história, existem moscas-das-frutas mutantes, chamadas de mutantes homeóticas, cuja embriologia é anormal: não desenvolvem balancins, e sim um segundo par de asas, como as abelhas ou qualquer outro tipo de inseto.



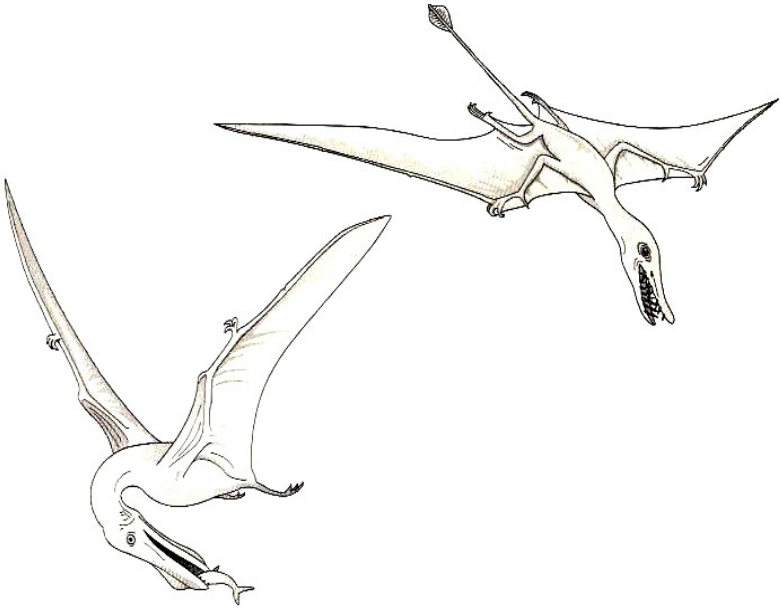
Balancins em uma melga

Como teriam sido os estágios intermediários entre as asas e os balancins, e por que a seleção natural favoreceria os intermediários? De que serve meio balancim? J. W. S. Pringle, meu velho professor de Oxford, cujo cenho ameaçador e postura empertigada granjearam-lhe o apelido de "John Risonho", foi o principal responsável pela

descoberta do modo de funcionamento dos balancins. Ele observou que todas as asas de inseto possuem na base minúsculos órgãos sensitivos que detectam torções e outras forças. Os órgãos sensitivos na base dos balancins são muito semelhantes — mais uma evidência de que os balancins são asas modificadas. Muito antes de os balancins evoluírem, as informações que chegavam ao sistema nervoso enviadas pelos órgãos sensitivos em sua base permitiam que as asas movimentadas rapidamente durante o vôo atuassem como giroscópios rudimentares. Uma vez que uma máquina voadora é naturalmente instável, ela precisa compensar isso com instrumentação refinada, por exemplo, com giroscópios.

Toda a questão da evolução de animais voadores estáveis e instáveis é interessantíssima. Observe, na página seguinte, dois pterossauros, répteis voadores extintos, contemporâneos dos dinossauros. Um engenheiro aeronáutico poderia dizer que o Rhamphorhynchus, o antigo pterossauro no topo da figura, deve ter sido um voador estável, graças à sua longa cauda terminada em raquete de pingue-pongue. O Rhamphorhynchus não precisaria de um complexo controle giratório, como o que as moscas possuem em seus balancins, porque sua cauda tornava-o inerentemente estável. Por outro lado, como o mesmo engenheiro poderia dizer, o animal não teria sido muito manobrável. Em qualquer máquina voadora existe um trade-off entre estabilidade e capacidade de manobra. O grande

John Maynard Smith, que trabalhou como projetista de aviões antes de voltar para a universidade e estudar zoologia (porque, justificou ele, os aviões eram barulhentos e antiquados), salientou que animais voadores podem mover-se no tempo evolucionário, avançando e retrocedendo no espectro desse trade-off, às vezes perdendo estabilidade inerente em favor de maior capacidade de manobra, mas pagando por isso na forma de maior instrumentação e capacidade de computação — a capacidade cerebral. Na base da figura acima vê-se o Anhanguera, um pterodátilo de época posterior, a era cretácea, cerca de 60 milhões de anos depois do jurássico Rhamphorhynchus. O Anhanguera quase não tinha cauda, como um morcego moderno. Como um morcego, ele sem dúvida seria uma aeronave instável, dependente de instrumentação e computação para exercer um controle refinado e ininterrupto sobre suas superfícies de vôo.



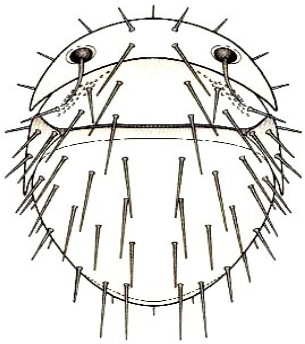
Rhamphorhynchus (*em cima*) e Anhanguera (*embaixo*)

O Anhanguera não tinha balancins, é claro. Para obter informações cqui valentes ele usava outros órgãos sensitivos, provavelmente os canais semicirculares na orelha interna. Estes eram muilo grandes nos pterossauros que foram examinados, embora, para cerlo desapontamento da hipótese de Maynard Smith, fossem grandes tanto no Rhamphorhynchus como no Anhanguera. Mas, voltando às moscas, Pringle aventa que os ancestrais de quatro asas das moscas provavelmente tinham abdome longo, o que os tornaria estáveis. Todas as quatro asas funcionariam como giroscopios rudimentares. E então, sugere Pringle, os ancestrais das moscas começaram a mover-se ao longo do continuum de estabilidade, tornando-se mais manobráveis e

menos estáveis conforme o abdome encurtava. As asas posteriores começaram a assumir mais a função de giroscópio (que sempre haviam executado, em pequeno grau, como asas), tornando-se menores e mais pesadas para seu tamanho, enquanto as asas dianteiras aumentaram de tamanho para responsabilizar-se mais pelo vôo. Teria havido um continuum de mudança gradual, com as asas dianteiras assumindo cada vez mais o fardo da aviação enquanto as posteriores encolhiam para cuidar da aviônica.

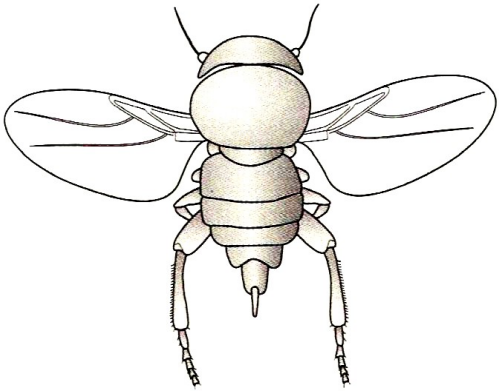
As formigas operárias perderam as asas, mas não a capacidade de desenvolvê-las. Sua história alada ainda espreita dentro de seu corpo. Sabemos disso porque as formigas rainhas (e os machos) têm asas, e as operárias são fêmeas que, por razões ambientais e não genéticas, poderiam ter sido, mas não se tornaram, rainhas. Presumivelmente, as formigas operárias perderam as asas na evolução porque esses apêndices são um estorvo quando elas se deslocam no subsolo. Um tocante testemunho desse fato é dado pelas formigas rainhas, que usam suas asas uma única vez, para abandonar voando o ninho onde nascem, encontrar um parceiro e se estabelecer, cavando um buraco para um novo ninho. Quando iniciam sua nova vida no subsolo, a primeira coisa que fazem é perder as asas, em alguns casos arrancando-as a mordidas: uma dolorosa (talvez, quem sabe?) evidência de que as asas são um estorvo no subsolo. Não admira, pois, que nas formigas operárias as asas nunca se desenvolvam.

Provavelmente por razões semelhantes, os formigueiros e os cupinzeiros abrigam uma variegada horda de "agregados" sem asas que se alimentam dos ricos petiscos trazidos ao ninho pelos infindáveis rios de carregadeiras. E, para eles, asas são um estorvo tanto quanto para as próprias formigas. Quem acreditaria que a monstruosidade abaixo é uma mosca?



Mosca parasítica da família Phoridae

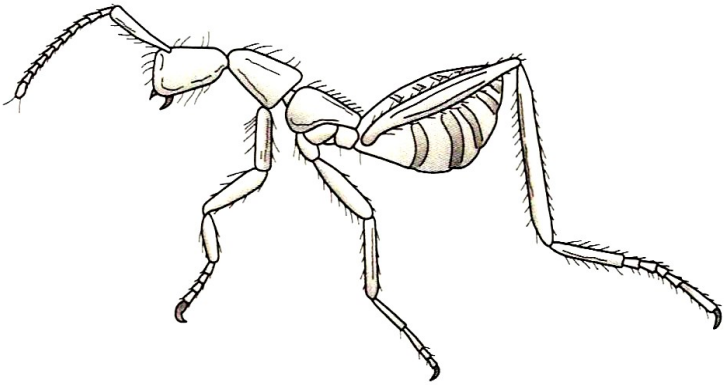
No entanto, graças a um pormenorizado e atento estudo de sua anatomia, sabemos não só que esse parasita do cupinzeiro é uma mosca, mas também que pertence a uma família específica de moscas, Phoridae. Abaixo vemos um membro mais normal dessa mesma família, presumivelmente semelhante, em certo grau, aos ancestrais alados da esquisita criatura sem asas acima, embora também este seja parasita de insetos sociais (em seu caso, abelhas). Podemos notar a similaridade com a cabeça em formato de foice do estrambótico monstro acima. E as mirradas asas do monstro mal se deixam entrever como minúsculos triângulos nas laterais.



Outra mosca da família Phoridae

Há uma razão adicional para a ausência de asas nessa ralé de aproveitadores e agregados dos formigueiros e cupinzeiros. Muitos deles (não as moscas forídeas) adquiriram ao longo do tempo evolucionário uma semelhança protetora com as formigas, para enganadas e/ou para enganar possíveis predadores que, do contrário, poderiam selecionados entre as menos palatáveis e mais protegidas formigas. Quem, olhando de relance, conseguiria notar que o inseto abaixo, que vive em formigueiros, não é uma formiga, e sim um besouro? Novamente: como é que sabemos? Graças a profundas e detalhadas semelhanças com besouros, as quais são numericamente muito superiores às características superficiais de semelhança com as formigas: exatamente do mesmo modo que sabemos que o golfinho é mamífero e não peixe. Essa criatura tem sua descendência de besouro escrita no corpo todo, exceto (também como o golfinho) naqueles traços

que definem sua aparência superficial, como a ausência de asas e o perfil de formiga.



Besouro disfarçado de formiga

OLHOS PERDIDOS

Assim como as formigas e suas penetras subterrâneas perderam as asas no subsolo, numerosos tipos de animais que vivem no fundo de cavernas aonde a luz não chega perderam ou reduziram seus olhos e são, como observou o próprio Darwin, parcial ou totalmente cegos. A palavra "troglobita" foi cunhada para designar um animal que vive exclusivamente na parte mais escura de cavernas e é tão especializado que não é capaz de viver em nenhum outro lugar. Entre os troglobitas incluem-se salamandras, peixes, camarões, lagostins, milípedes, aranhas, grilos e muitos outros animais. Muitos deles são brancos, perderam toda a pigmentação, e cegos. Mas geralmente conservam vestígios de olhos, sendo essa a razão de eu mencioná-los aqui. Olhos

vestigiais são evidência de evolução. Dado que uma salamandra cavernícola vive em perpétua escuridão e não precisa de olhos, por que um criador divino ainda assim lhe daria um simulacro de órgãos da visão, claramente relacionados a olhos mas não funcionais?

Os evolucionistas, por sua vez, precisam encontrar uma explicação para a perda dos olhos quando estes não são mais necessários. Por que não, alguém poderia sugerir, simplesmente conservar os olhos, mesmo sem nunca os usar? Quem sabe eles não poderiam vir a ter alguma utilidade no futuro? Por que "dar-se o trabalho" de livrar-se deles? A propósito, note como é difícil resistir à linguagem da intenção, propósito e personificação. Rigorosamente falando, eu não deveria ter usado a expressão "dar-se o trabalho", não é mesmo? Deveria ter escrito algo assim: "Como é que perder os olhos beneficiaria um espécime de salamandra das cavernas de modo a aumentar sua probabilidade de sobreviver e se reproduzir em comparação com outra salamandra que mantém um par de olhos perfeitos mesmo sem nunca os usar?".

Ora, olhos quase certamente não são isentos de custo. Além dos nada modestos custos de produzir um olho, uma cavidade ocular úmida que precisa ser aberta para o mundo a fim de acomodar o globo giratório com sua superfície transparente poderia ser vulnerável a infecções. Portanto, uma salamandra das cavernas que selasse os olhos sob uma pele dura poderia sobreviver melhor do que um indivíduo rival que mantivesse seus olhos.

Mas há outro modo de responder a essa questão e, instrutivamente, ele não invoca a linguagem das vantagens, muito menos a do propósito e personificação. Quando falamos em seleção natural, pensamos em termos do surgimento de raras mutações benéficas e do favorecimento pela seleção. Mas as mutações, em sua maioria, são desvantajosas, no mínimo porque são aleatórias e existem muito mais modos de piorar do que de melhorar. A seleção natural penaliza prontamente as mutações ruins. Os indivíduos que as possuem têm probabilidade maior de morrer e menor de se reproduzir, e isso automaticamente remove essas mutações do reservatório gênico. Cada genoma de planta e animal está sujeito a um constante bombardeio de mutações deletérias: uma tempestade de atrição. Podemos fazer uma analogia com a superfície lunar, que cada vez mais se torna crivada de crateras em razão do constante bombardeio de meteoritos. Com raras exceções, toda vez que um gene ligado a um olho, por exemplo, é atingido por uma mutação danosa, o olho torna-se um pouco menos funcional, um pouco menos capaz de ver, um pouco menos digno de ser chamado de olho. Em um animal que vive exposto à luz e usa o sentido da visão, essas mutações deletérias (a maioria) são rapidamente removidas do reservatório gênico pela seleção natural.

Na escuridão total, porém, as mutações deletérias que bombardeiam os genes para produzir olhos não são penalizadas. Afinal, enxergar é impossível ali. O olho de uma salamandra das cavernas é

como a Lua, salpicado de crateras mutacionais que nunca são removidas. O olho de uma salamandra que habita o mundo iluminado é como a Terra, atingido por mutações ao mesmo ritmo dos olhos das cavernícolas, mas cada mutação deletéria (cratera) é alvo de limpeza (erosão) promovida pela seleção natural. Obviamente, a história do olho dos cavernícolas não é somente negativa: a seleção natural participa, também, favorecendo o crescimento de pele protetora sobre as vulneráveis cavidades dos olhos em vias de deterioração óptica.

Entre as mais interessantes relíquias históricas estão as características que são usadas para alguma coisa (portanto não são vestígios, no sentido de terem sobrevivido ao seu propósito), mas parecem mal projetadas para esse fim. O olho dos vertebrados em sua versão mais esplêndida — por exemplo, o olho de um falcão ou de um humano — é um magnífico instrumento de precisão, capaz de proezas de altíssima resolução que rivalizam com as melhores ao alcance de uma Zeiss ou de uma Nikon. Se não fosse assim, a Zeiss e a Nikon não perderiam seu tempo produzindo imagens de alta resolução para os nossos olhos contemplarem. Por outro lado, Hermann von Helmholtz, grande cientista alemão do século XIX (poderíamos chamá-lo de físico, mas suas contribuições para a biologia e a psicologia foram maiores), disse a respeito do olho: "Se um óptico tentasse vender-me um instrumento que apresentasse todos esses defeitos, eu me julgaria plenamente justificado em bradar veementemente

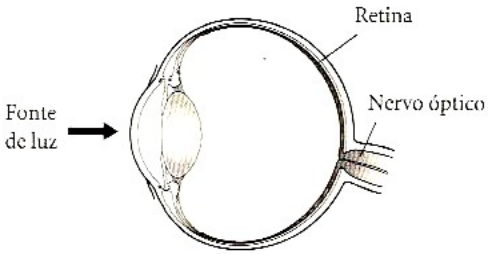
contra sua desatenção e devolver-lhe o instrumento". Uma razão pela qual o olho parece melhor do que o físico Helmholtz julgava é que o cérebro faz um trabalho impressionante de limpeza das imagens posteriormente, como uma espécie de ultrarrefinado Photoshop automático. No que diz respeito à óptica, o olho humano alcança sua qualidade Zeiss/Nikon somente na fóvea, a parte central da retina que usamos para ler. Quando escaneamos uma cena, movemos a fóvea por diferentes partes, vendo cada uma delas com todos os detalhes e máxima precisão, e o "Photoshop" no cérebro nos engana, fazendo-nos pensar que estamos vendo a cena inteira com a mesma precisão. Uma lente Zeiss ou Nikon de alta qualidade realmente mostra a cena toda com quase igual nitidez.

Assim, o que falta ao olho em óptica, o cérebro compensa com seu sofisticado software de simulação de imagem. Mas ainda não mencionei o mais flagrante exemplo de imperfeição: a retina está de trás para a frente.

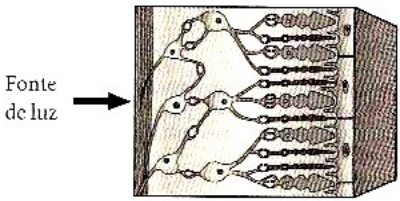
Imagine um Helmholtz moderno a quem um engenheiro apresentasse uma câmera digital com sua tela de minúsculas fotocélulas, montada para captar imagens projetadas diretamente sobre a superfície da tela. Isso faz sentido, e obviamente cada fotocélula tem um fio que a liga a algum tipo de mecanismo de computação no qual as imagens são intercaladas. Também faz sentido. Helmholtz não a devolveria.

Mas agora suponha que eu lhe diga que as fotocélulas estão apontando para trás, para o lado

oposto ao da cena observada. Os "fios" que ligam as fotocélulas ao cérebro percorrem toda a superfície da retina, e com isso os raios luminosos precisam atravessar um tapete de fios reunidos em massa antes de atingir as fotocélulas. Isso não faz sentido. E fica ainda pior. Uma consequência de as fotocélulas apontarem para trás é que os fios que levam seus dados precisam dar um jeito de atravessar a retina e voltar ao cérebro. O que eles fazem, no olho dos vertebrados, é convergir todos para uma abertura específica da retina e mergulhar através dessa passagem. A abertura cheia de nervos é chamada de ponto cego porque é cega, mas "ponto" é um termo lisonjeiro, já que ela é bem grande; está mais para um trecho cego, o que também não nos causa grande inconveniência graças ao software do cérebro, o nosso "Photoshop" automático. Mais uma vez, é caso de devolução, pois não é só um projeto malfeito, é o projeto de um completo idiota.



Olho humano



Detalhe de "fotocélulas" (cones e bastonetes)

Mas será mesmo? Se fosse, o olho cumpriria pessimamente sua missão de ver, mas isso não

ocorre. Na realidade, ele vê muito bem. Isso porque a seleção natural, atuando como uma faxineira de inúmeros detalhezinhos, apresentou-se após o grande erro original de instalar a retina de trás para a frente e restaurou-a à qualidade de instrumento de alta precisão. Isso me recorda a saga do telescópio espacial Hubble. Lembremos que quando o Hubble foi lançado, em 1990, descobriu-se que ele tinha um grande defeito. Devido a uma falha não detectada no mecanismo de calibragem quando ele estava sendo esmerilado e polido, o espelho principal sofreu uma deformação pequena, mas grave. O telescópio foi posto em órbita e só então se descobriu seu defeito. Numa ousada e engenhosa manobra, astronautas foram enviados ao telescópio e conseguiram ajustar seu funcionamento com um recurso que equivaleria a pôr-lhe óculos. Dali por diante o telescópio funcionou muito bem, e outras três missões de serviço realizaram aperfeiçoamentos adicionais. O que estou tentando demonstrar é que uma grande falha no desenvolvimento de uma estrutura — mesmo um erro catastrófico — pode ser corrigida por ajustes subsequentes, cuja engenhosidade e complexidade podem, nas circunstâncias certas, compensar perfeitamente o erro inicial. Na evolução de modo geral, grandes mutações, mesmo que causem melhoras na direção geralmente certa, quase sempre requerem muitos ajustes subsequentes — uma operação de faxina realizada por numerosas pequenas mutações que ocorrem depois e são favorecidas pela seleção

porque aparam arestas deixadas pela grande mutação inicial. É por isso que humanos e falcões vêem tão bem, apesar da desastrada falha no desenvolvimento inicial. Heimholtz novamente:

Pois o olho tem todo defeito possível de se encontrar num instrumento óptico, e até alguns exclusivos dele próprio; mas eles são tão contrabalançados que a inexatidão da imagem que resulta de sua presença excede pouquíssimo, em condições normais de iluminação, os limites impostos à delicadeza de sensação pelas dimensões dos cones retinianos. Mas quando fazemos nossas observações sob condições um tanto mudadas, damo-nos conta da aberração cromática, do astigmatismo, dos pontos cegos, das sombras venosas, da transparência imperfeita dos meios e de todos os outros defeitos que mencionei.

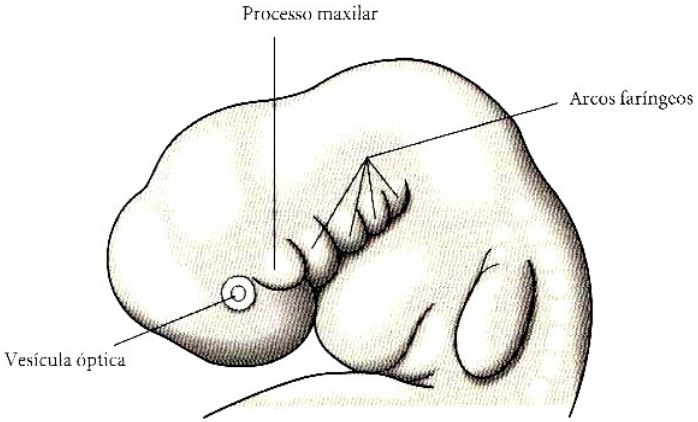
DESIGN DESINTELIGENTE

Esse padrão de grandes falhas de design compensadas por subsequentes ajustes pequenos é exatamente o que não deveríamos esperar se houvesse um designer atuando. Poderíamos esperar erros infelizes, como na aberração esférica do telescópio Hubble, mas não uma óbvia estupidez, como no caso da retina instalada de trás para a frente. Mancadas desse tipo não provêm de um mau projeto, mas da história.
Um exemplo que vem sendo favorito desde que me foi dado pelo professor J. D. Currey quando era

meu tutor durante a graduação é o do nervo laríngeo recorrente. Ele é um ramo de um dos nervos cranianos, os que saem diretamente do cérebro e não da medula espinhal. Um dos nervos cranianos, o vago (o nome significa "o que vagueia", e é bem apropriado), tem vários ramos, dois dos quais levam ao coração, e dois de cada lado da laringe (caixa vocal em mamíferos). De cada lado do pescoço, um dos ramos do nervo laríngeo vai direto à laringe, seguindo uma rota direta, como um designer poderia ter planejado. Já o outro chega à laringe depois de fazer um assombroso desvio. Ele mergulha no tórax, faz uma volta ao redor de uma das principais artérias que saem do coração (uma artéria diferente dos lados esquerdo e direito, mas o princípio é o mesmo) e então se dirige de volta ao pescoço, até chegar a seu destino.

Se for visto como um produto projetado, o nervo laríngeo recorrente é uma vergonha. Helmholtz teria ainda mais razão para devolvê-lo do que para devolver o olho. Porém, assim como o olho, ele faz sentido perfeitamente no momento em que não postulamos um planejamento e pensamos na história. Para entendê-lo, precisamos retroceder ao tempo em que nossos ancestrais eram peixes. Os peixes têm um coração com duas câmaras, em contraste com o nosso, que possui quatro. Ele bombeia o sangue para o corpo através de uma grande artéria central chamada aorta ventral. A aorta ventral possui (no máximo) seis pares de ramos, conducentes às seis guelras de cada lado. O sangue, então, passa pelas guelras, onde se

enriquece de oxigênio. Acima das guelras, ele é recebido por outros seis pares de vasos sanguíneos em outro grande vaso, chamado aorta dorsal, que percorre o meio do corpo e leva ao resto do corpo. Os seis pares de artérias das guelras são evidência do plano corporal segmentado dos vertebrados, o qual é mais claro e mais óbvio nos peixes do que em nós. Um dado fascinante é que ele é muito óbvio nos embriões humanos, cujos "arcos faríngeos" claramente derivam de guelras ancestrais, como se pode deduzir a partir de sua detalhada anatomia. Obviamente eles não funcionam como guelras, mas embriões humanos de cinco semanas lembram peixinhos rosados com guelras. Não resisto a cogitar, mais uma vez, por que as baleias, golfinhos, dugongos e manatis não tornaram a ganhar guelras funcionais pela evolução. O fato de que eles, como todos os mamíferos, possuem nos arcos faríngeos a estrutura embriônica para desenvolver guelras sugere que não seria difícil demais fazêdo. Não sei por que não o fizeram, mas tenho certeza de que há uma razão muito boa, e que alguém sabe qual é ou sabe como investigar.



Arcos faríngeos no embrião humano

Todos os vertebrados têm um plano corporal segmentado, mas nos mamíferos adultos, em contraste com os embriões, ele é facilmente perceptível apenas na região espinhal, onde as vértebras e as costelas, os vasos sanguíneos, grupos musculares (miótomos) e nervos seguem, todos, um padrão de repetição modular da frente para trás. Cada segmento da coluna vertebral possui dois grandes nervos que saem da medula espinhal dos dois lados, chamados raiz dorsal e raiz ventral. Esses nervos exercem sua função, seja ela qual for, sobretudo, nas vizinhanças das vértebras das quais eles saem, mas alguns percorrem as pernas, e outros, os braços.

A cabeça também segue o mesmo plano segmentado, porém este é mais difícil de distinguir, mesmo nos peixes, pois os segmentos, em vez de estarem dispostos organizadamente de trás para a frente, como na coluna vertebral, emaranharam-se no decorrer do tempo evolucionário. Um dos triunfos da anatomia

comparativa e da embriologia no início do século XX foi discernir as tênues pegadas de segmentos na cabeça. Por exemplo, o primeiro arco branquial em peixes sem mandíbula como a lampreia (e nos embriões de vertebrados com mandíbula) corresponde à mandíbula dos vertebrados que a possuem (ou seja, todos os vertebrados modernos exceto a lampreia e o peixe-bruxa).

Também os insetos, além de outros artrópodes como os crustáceos vistos no capítulo 10, possuem plano corporal segmentado. E foi um triunfo da mesma magnitude demonstrar que a cabeça dos insetos contém — também emaranhados — os seis primeiros segmentos do que, em seus ancestrais remotos, teria sido uma série de módulos exatamente como o resto do corpo. Foi um triunfo da embriologia e da genética de fins do século XX mostrar que a segmentação dos insetos e a segmentação dos vertebrados, longe de ser independentes uma da outra, como fui ensinado, são na verdade mediadas por conjuntos paralelos de genes, os chamados genes hox, que são reconhecivelmente semelhantes em insetos, vertebrados e muitos outros animais e até se dispõem na ordem serial correta nos cromossomos! Nenhum dos meus professores jamais sonhou com isso quando eu, na faculdade, aprendi separadamente sobre a segmentação dos insetos e a dos vertebrados. Animais de filos diferentes (por exemplo, insetos e vertebrados) são muito mais unidos do que antes se imaginava. E isso também se deve à descendência que eles têm em comum. O plano hox já se esboçava no

ancestral mais antigo de todos os animais dotados de simetria bilateral. Todos os animais são primos mais próximos uns dos outros do que pensávamos. Voltando à cabeça dos vertebrados: supõe-se que os nervos cranianos sejam os descendentes muito disfarçados de nervos segmentares que, em nossos ancestrais primitivos, constituíam a extremidade frontal de um encadeamento de raízes dorsais e raízes ventrais, exatamente como as que ainda saem da nossa coluna vertebral. E os principais vasos sanguíneos do nosso tórax são as emaranhadas relíquias e vestígios dos antes claramente segmentados vasos sanguíneos que supriam as guelras. Poderíamos dizer que o tórax mamífero emaranhou o padrão segmentar das guelras de peixe ancestrais do mesmo modo como, anteriormente, a cabeça dos peixes emaranhou o padrão segmentado de ancestrais ainda mais remotos.

Os embriões humanos também possuem vasos sanguíneos que suprem suas "guelras", os quais são bem semelhantes às dos peixes. Há duas aortas ventrais, uma de cada lado, com arcos aórticos segmentares, cada um do lado da sua respectiva "guelra", ligados a aortas dorsais emparelhadas. A maioria desses vasos sanguíneos segmentares já desapareceu na fase final do desenvolvimento embriônico, mas podemos ver que o padrão adulto deriva do plano embriônico — e também do plano ancestral. Examinando um embrião humano após aproximadamente 26 dias da concepção, vemos que o suprimento de sangue para as "guelras" tem acentuada semelhança com

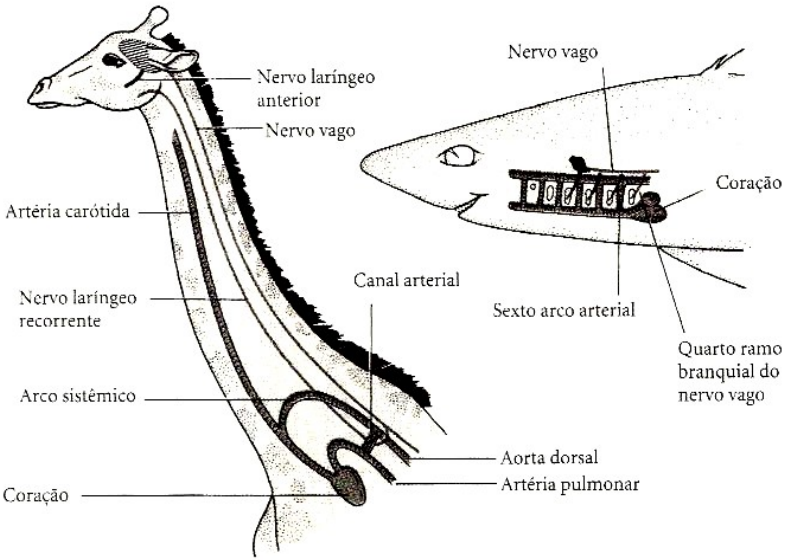
o suprimento de sangue segmentar das guelras de um peixe. No decorrer das semanas seguintes de gestação, o padrão dos vasos sanguíneos torna-se simplificado por etapas e perde sua simetria original; na época do nascimento, o sistema circulatório da criança tornou-se pronunciadamente voltado para o lado esquerdo — em contraste com a nítida simetria do embrião em sua fase inicial, que tinha características de peixe.

Não entrarei nos confusos detalhes acerca de quais grandes artérias do nosso tórax são as sobreviventes das seis artérias branquiais enumeradas. O que precisamos saber para entender a história dos nossos nervos laríngeos recorrentes é apenas que, nos peixes, o nervo vago possui ramos que suprem as três últimas das seis guelras, portanto é natural que eles passem por trás das artérias branquiais apropriadas. Não há nada de "recorrente" nesses ramos: eles buscam seus órgãos finais, as guelras, pela rota mais direta e lógica.

Durante a evolução dos mamíferos, porém, o pescoço esticou-se (peixes não têm pescoço) e as guelras desapareceram; algumas delas transformaram-se em coisas úteis, como as glândulas tireóide e paratireoide e as várias outras partes que se combinam para formar a laringe. Essas outras coisas úteis, inclusive as partes da laringe, receberam seu suprimento sanguíneo e suas conexões nervosas dos descendentes evolucionários dos vasos sanguíneos e nervos que, muito tempo atrás, supriram as guelras em ordenada sequência. À medida que os ancestrais

dos mamíferos evoluíram e se distanciaram de seus ancestrais peixes, nervos e vasos sanguíneos foram sendo puxados e esticados em direções confusas, que distorceram as relações espaciais entre eles. O tórax e o pescoço dos vertebrados viraram uma mixórdia, em contraste com a organizada simetria e as repetições seriadas das guelras dos peixes. E os nervos laríngeos recorrentes tornaram-se vítimas mais do que usualmente exageradas dessa distorção.

A figura a seguir, extraída de um livro didático de 1986 escrito por Berry e Hallam, mostra que, no tubarão, o nervo laríngeo não tem desvio. Para ilustrar o desvio em um mamífero, Berry e Hallam escolheram — que outro exemplo mais marcante poderia haver? — a girafa.



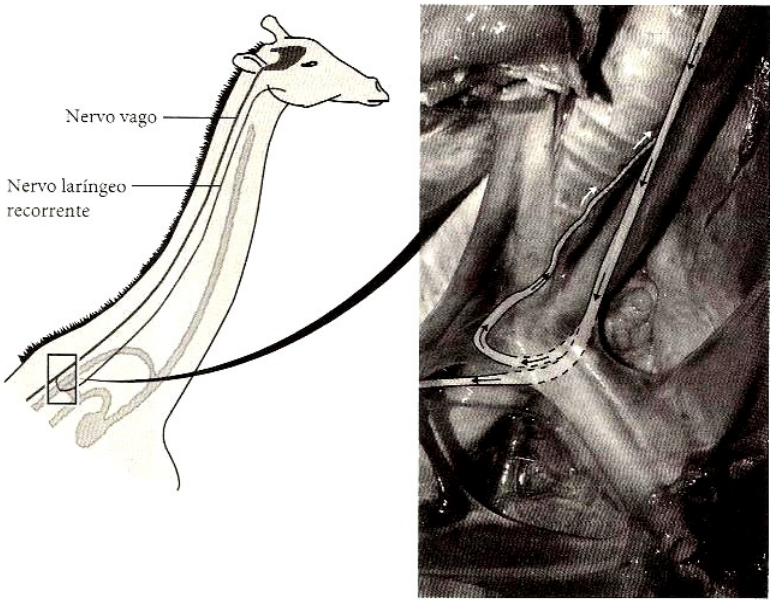
Nervo laríngeo na girafa e no tubarão

Nos humanos, a rota seguida pelo nervo laríngeo

recorrente representa um caminho indireto de talvez vários centímetros. Mas em uma girafa adulta das grandes, o desvio pode chegar, talvez, a assombrosos 4,5 metros! No dia seguinte ao Darwin Day 2009, a comemoração do ducentésimo aniversário de Darwin, tive o privilégio de passar o dia todo com um grupo de anatomistas comparativos e patologistas veterinários no Royal Veterinary College, próximo a Londres, dissecando uma jovem girafa que infelizmente morrera em um zoológico. Foi para mim um dia memorável, quase uma experiência surreal. A sala de operação era um enorme anfiteatro, com uma imensa parede de vidro separando o "palco" das cadeiras onde os estudantes se sentaram por horas a fio, assistindo à cirurgia. O dia todo — deve ter sido muito diferente da rotina deles — os estudantes permaneceram no anfiteatro às escuras, olhando através do vidro a cena fortemente iluminada, ouvindo as palavras ditas pela equipe que fazia a dissecação. Cada cientista, além de mim e dos cineastas que filmavam tudo para um futuro documentário do Channel Four, estava munido de um microfone de garganta. A girafa foi posta sobre uma enorme mesa de dissecação com reentrâncias em ângulo, com uma perna erguida e segura por um gancho e seu longuíssimo e comoventemente vulnerável pescoço exposto com destaque às luzes intensas. Todos nós que estávamos do lado do vidro onde se encontrava a girafa tínhamos ordens rigorosas de usar avental laranja e botas brancas, o que muito contribuiu para o clima de sonho daquele dia.

Um testemunho da imensidão do desvio feito pelo nervo laríngeo recorrente está no fato de que membros diferentes da equipe de anatomistas trabalharam simultaneamente em diferentes trechos do nervo — a laringe próximo à cabeça, a recorrência propriamente dita próximo ao coração e todos os trechos intermediários — sem que um estorvasse o outro e quase sem precisar comunicar-se entre si. Pacientemente eles deslindaram todo o trajeto do nervo laríngeo recorrente: uma tarefa complicada que não era executada, pelo que soubéssemos, desde que fora empreendida pelo grande anatomista vitoriano Richard Owen em 1837. O trabalho foi difícil porque o nervo é estreitíssimo, parece quase um fio em sua porção recorrente (suponho que eu já deveria saber disso, mas ainda assim me surpreendi quando efetivamente o vi), e é fácil perdê-lo na intricada rede de membranas e músculos que cercam a traqueia. Em sua jornada para baixo, o nervo (nessa altura empacotado junto com o nervo vago, que é maior) passa a centímetros da laringe, seu destino final. No entanto, prossegue seu trajeto pescoço abaixo antes de mudar de direção e tornar a subir tudo de novo. Impressionou-me a perícia dos professores Graham Mitchell e Joy Ridenberg, assim como dos demais especialistas que efetuaram a dissecação, e percebi que crescia meu respeito por Richard Owen (inimigo figadal de Darwin). Mas o criacionista Owen não extraiu a conclusão óbvia. Qualquer designer inteligente teria desemaranhado o nervo laríngeo em seu trajeto

descendente, substituindo uma jornada de muitos metros por outra de alguns centímetros.
Sem falar no desperdício de recursos envolvidos na produção de um nervo tão longo, fico imaginando que as vocalizações da girafa devem soar com atraso, como a voz de um correspondente estrangeiro ouvida por transmissão via satélite. Um especialista afirma: "Apesar de possuir laringe bem desenvolvida e natureza gregária, a girafa só é capaz de emitir gemidos ou relinchos baixos". Uma girafa com gagueira é uma idéia interessante, mas não a desenvolverei aqui. O importante é que toda essa história do desvio é um esplêndido exemplo do quanto seres vivos estão longe de ter sido bem projetados. E, para um evolucionista, a questão relevante é por que a seleção natural não faz o que um engenheiro faria: voltar à prancheta e redesenhar as coisas de um modo sensato. É a mesma questão que vimos encontrando vezes sem conta ao longo deste capítulo, e tentei respondê-la de vários modos. O nervo laríngeo recorrente presta-se a uma resposta baseada no que os economistas chamam de "custo marginal".



Desvio feito pelo nervo laríngeo na girafa

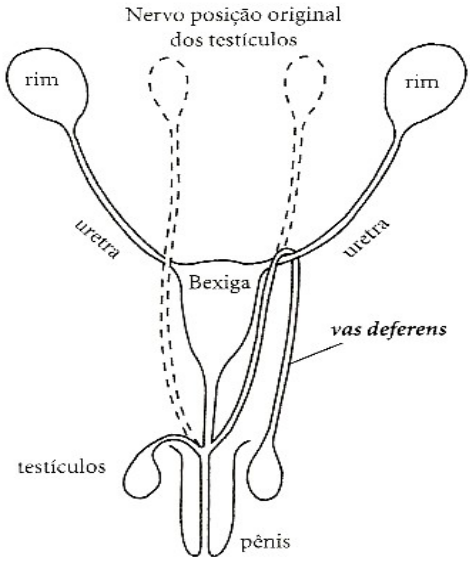
Conforme o pescoço da girafa lentamente se alongou no decorrer do tempo evolucionário, o custo do desvio — seja o custo econômico, seja o custo de "gaguejar" — foi gradualmente aumentando, e friso aqui o "gradualmente". O custo marginal de cada milímetro de crescimento era ínfimo. Quando o pescoço da girafa começou a aproximar-se de seu presente comprimento impressionante, o custo total de um desvio talvez tenha começado a chegar perto do ponto em que, hipoteticamente, um mutante individual sobreviveria melhor se as fibras descendentes do seu nervo laríngeo se desenredassem do feixe do nervo vago e saltassem o minúsculo trecho até a laringe. Mas a mutação necessária para realizar esse "salto" teria de ser uma grande mudança — uma verdadeira revolução — no desenvolvimento

embriônico. Muito provavelmente a mutação necessária nunca viria a acontecer, de qualquer modo. Mesmo se acontecesse, talvez viesse a ter desvantagens — inevitáveis em qualquer grande mudança em um processo sensível e delicado. E mesmo se essas desvantagens pudessem, por fim, ser mais do que compensadas pelas vantagens de livrar-se do desvio e seguir um caminho direto, o custo marginal de cada milímetro de desvio aumentado em comparação com o desvio já existente é ínfimo. Mesmo se uma solução do tipo "voltar à prancheta" fosse uma ideia melhor caso pudesse ser concretizada, a alternativa concorrente era apenas um minúsculo aumento do desvio existente, e o custo marginal desse pequenino aumento seria pequeno. Menor, imagino, do que o custo da "grande revolução" necessária para ensejar a solução mais elegante.

Tudo isso é irrelevante para a ideia principal da nossa argumentação, qual seja: o nervo laríngeo recorrente, em qualquer mamífero, é boa evidência contra a idéia de um designer. E, na girafa, é mais do que boa: é espetacular. O desvio extravagantemente longo que desce pelo pescoço da girafa e torna a subir é exatamente o tipo de coisa que se esperaria de uma evolução por seleção natural, e exatamente o tipo de coisa que não se esperaria de nenhum tipo de designer inteligente.

George C. William é um dos mais respeitados biólogos evolucionários americanos (sua serena sabedoria e seu rosto vincado e marcante lembra um dos mais respeitados presidentes americanos

— que, por sinal, nasceu no mesmo dia que Charles Darwin e também é conhecido por sua serena sabedoria). Williams ressaltou outro desvio, semelhante ao feito pelo nervo laríngeo recorrente, só que na outra ponta do corpo. O *vas deferens* é o canal que leva o esperma dos testículos ao pênis. A rota mais direta é a fictícia, mostrada do lado esquerdo do diagrama abaixo. A rota realmente seguida pelo *vas deferens* é mostrada à direita. Ela faz um imenso desvio ao redor da uretra, o canal que leva a urina dos rins à bexiga. Se houvesse sido projetado, ninguém em sã consciência negaria que o projetista cometeu um erro crasso. Mas, assim como o nervo laríngeo recorrente, tudo se esclarece quando analisamos a história evolucionária. A posição original provável dos testículos é mostrada nas linhas pontilhadas. Quando, na evolução dos mamíferos, os testículos desceram até a atual posição no escroto (por razões que não estão claras, mas que muitos supõem estarem ligadas à temperatura), o *vas deferens* infelizmente ficou enganchado no caminho errado, por cima da uretra. Em vez de retraçar a rota do canal, como qualquer engenheiro sensato faria, a evolução simplesmente continuou a prolongá-lo — mais uma vez, o custo marginal de cada ligeiro aumento no desvio seria pequeno. E de novo esse é um belo exemplo de um erro inicial compensado post hoc, em vez de ser adequadamente corrigido na prancheta de desenho. Exemplos como esse minam indiscutivelmente a posição dos que suspiram por um "design inteligente".



Rota do vas deferens *dos testículos ao pênis*

O corpo humano contém em abundância o que, em certo sentido, poderíamos chamar de imperfeições, mas, em outro sentido, deve ser visto como soluções conciliatórias inescapáveis resultantes da nossa longa história ancestral de descendência de outros tipos de animal. As imperfeições são inevitáveis quando não existe a opção de "voltar à prancheta" — quando as melhoras só podem ser obtidas com modificações ad hoc do que já existe. Imagine que confusão seria o motor a jato se sir Frank Whittle e o dr. Hans von Ohain, seus dois inventores independentes, fossem obrigados a obedecer à seguinte regra: "não é permitido começar com uma folha em branco na sua prancheta. Você deve começar com um motor de hélice e modificá-lo, uma peça por vez, parafuso por parafuso, rebite

por rebite, do motor a hélice 'ancestral' até o motor a jato 'descendente'". E, ainda por cima, todos os intermediários têm de voar, e cada um na cadeia tem de ser no mínimo um pouquinho melhor do que seu predecessor, já se vê que o motor a jato que resultaria dessas regras carregaria o fardo de todo tipo de relíquias, anomalias e imperfeições históricas. E cada imperfeição seria acompanhada de uma desajeitada adição de reparos compensatórios toscos, desajeitados, cada qual lidando como possível com a infeliz proibição de voltar à prancheta.

O argumento está devidamente defendido. No entanto, um exame mais atento de uma inovação biológica poderia produzir uma analogia diferente daquela do motor a hélice/motor a jato. Uma inovação importante (o motor a jato, na nossa analogia) tem grande probabilidade de evoluir não do antigo órgão que fazia o mesmo trabalho (o motor a hélice, neste caso), mas a partir de algo totalmente diferente, que desempenhe uma função inteiramente distinta. Um bom exemplo é o fato de que, quando nossos ancestrais peixes começaram a respirar ar, não modificaram suas guelras para transformá-las em pulmões (como é o caso de alguns peixes modernos que respiram ar, por exemplo a perca-trepadora Anahas). Em vez disso, modificaram uma bolsa do tubo digestivo. E, a propósito, mais tarde os teleósteos — termo que denota quase lodo peixe que você provavelmente venha a encontrar, com exceção dos tubarões e afins — modificaram o pulmão (o qual evoluíra

antes em ancestrais que ocasionalmente respiravam ar) transformando-o em outro órgão vital, que não tem nenhum papel na respiração: a bexiga natatória.

A bexiga natatória talvez seja o principal segredo do sucesso dos teleósteos, e vale bem uma digressão. Trata-se de uma bexiga interna cheia de gás, que pode ser sensitivamente ajustada para manter o peixe em equilíbrio hidrostático em qualquer profundidade desejada. Se na infância você brincou com um "mergulhador cartesiano", ou ludião, reconhecerá o princípio. Os teleósteos usam uma interessante variante dele. O mergulhador cartesiano é um brinquedo que consiste em um copinho de cabeça para baixo, contendo uma bolha de ar, que flutua em equilíbrio numa garrafa com água. O número de moléculas de ar na bolha é fixo, mas podemos diminuir o volume (e aumentar a pressão, seguindo a Lei de Boyle) apertando a rolha para baixo na garrafa. Ou podemos aumentar o volume de ar (e diminuir a pressão da bolha) elevando a rolha. O efeito é obtido mais intensamente com uma das fortes rolhas das garrafas de cidra. Quando baixamos ou erguemos a rolha, o mergulhador desce ou sobe até atingir um novo ponto de equilíbrio hidrostático. Podemos fazer o mergulhador subir e descer na garrafa com ajustes sensíveis na rolha e, portanto, na pressão.

Um peixe é um mergulhador cartesiano com uma sutil diferença. A bexiga natatória é sua "bolha" e funciona do mesmo modo, só que o número de moléculas de gás em seu interior não é fixo.

Quando o peixe quer deslocar-se para um nível superior na água, ele libera moléculas de gás do sangue na bexiga e, assim, aumenta o volume da bexiga. Quando quer afundar, absorve moléculas de gás da bexiga no sangue, diminuindo-lhe o volume. Graças à bexiga natatória, o peixe não precisa realizar trabalho muscular para se manter na profundidade desejada, como fazem os tubarões. Ele está em equilíbrio hidrostático em qualquer profundidade escolhida. A bexiga natatória encarrega-se desse trabalho, deixando os músculos livres para a propulsão ativa. Os tubarões, em contraste, precisam nadar o tempo todo para não afundar por completo, o que, reconhecidamente, aconteceria devagar, já que seus tecidos contam com substâncias especiais de baixa densidade que os mantêm moderadamente flutuantes. A bexiga natatória, portanto, é um pulmão cooptado, e este, por sua vez, é uma bolsa branquial cooptada (e não, como você poderia pensar, uma câmara branquial cooptada). Em alguns peixes, inclusive, a própria bexiga natatória também é cooptada para funcionar como um órgão auditivo, uma espécie de tímpano. A história está escrita no corpo todo, não apenas uma vez, mas repetidamente, em um exuberante palimpsesto.

Temos sido animais terrícolas por cerca de 400 milhões de anos, e andamos nas pernas traseiras há apenas 1% desse tempo aproximadamente. Por 99% do nosso tempo em terra firme tivemos uma espinha dorsal mais ou menos horizontal e andamos nas quatro pernas. Não sabemos ao

certo que vantagens seletivas advieram aos primeiros indivíduos que se ergueram para andar nas pernas traseiras, e deixarei essa questão de lado. Jonathan Kingdon escreveu todo um livro sobre esse tema (Lowly origin) e abordei-o com alguma particularização em A grande história da evolução. Pode não ter parecido uma grande mudança quando ocorreu, pois outros primatas, como os chimpanzés, alguns macacos e o encantador lêmure sifaka-de-verreaux fazem isso de vez em quando. Mas andar habitualmente com duas pernas, como nós fazemos, pro¬duziu desdobramentos muito mais abrangentes por todo o corpo, o que reque¬reu muitos ajustes compensatórios. Pode-se dizer que nenhum osso ou músculo, em qualquer parte do corpo, foi poupado da necessidade de mudar para acomodar algum detalhe, por mais obscuro ou inusitado que fosse, mesmo que apenas indireta e tenuamente ligado à grande mudança de postura. Toda grande mudança no modo de vida, da água para terra, da terra para a água, para o ar ou para o subsolo requer uma reequipagem geral análoga. Não podemos isolar as mudanças óbvias no corpo e analisá-las isoladamente. Dizer que toda mudança traz ramificações é dizer pouco. Ocorrem centenas, milhares de ramificações, e ramificações de ramificações. A seleção natural está sempre fazendo pequenos ajustes, burilando, "mexendo", como disse o grande biólogo molecular francês François Jacob.

Vejamos outro bom modo de pensar essa questão. Quando ocorre uma grande mudança no clima,

como uma era do gelo, naturalmente prevemos que a seleção natural ajustará os animais à mudança, dando-lhes, por exemplo, uma pelagem mais espessa. Mas o clima externo não é o único tipo de "clima" que precisamos considerar. Sem nenhum tipo de mudança externa, se surgir uma grande mutação e ela for favorecida pela seleção natural, todos os outros genes no genoma vivenciarão o fato como uma mudança no "clima genético" interno. É, tanto quanto uma alteração climática, uma mudança à qual eles têm de ajustar-se. A seleção natural precisa atuar posteriormente, fazendo ajustes de modo a compensar uma grande mudança no "clima" genético, exatamente como faria se a mudança fosse no clima externo. A modificação inicial da postura quadrúpede para a bípede poderia, inclusive, ter sido gerada "internamente", em vez de engendrada por uma alteração no meio externo. De um modo ou de outro, ela teria desencadeado uma complexa cascata de consequências, cada qual reque¬rendo ajustes compensatórios de "lapidação".

Um bom título para este capítulo seria "design desinteligente". Aliás, esse poderia ser um bom lema para todo um livro sobre as imperfeições da vida como um irrefutável indicador da inexistência de um design deliberado. Mais de um autor, independentemente, aproveitou essa ideia. Dentre eles, como adoro a irreverência do inglês australiano ("Então como foi que surgiu esse design inteligente? Como uma espinha no traseiro?"), concentrei-me no delicioso livro de

Robin Williams, decano dos radiojornalistas especializados em ciência de Sydney. Depois de reclamar amargamente da dor nas costas que o tortura todas as manhãs (e eu bem o compreendo), Williams emendou: "quase todas as costas poderiam exigir devolução no prazo de garantia, se tal coisa existisse. Se [Deus] fosse responsável pelo design das costas, teríamos de admitir que ele não estava nos seus melhores dias e sem dúvida foi na maior correria que ele conseguiu cumprir seu cronograma dos Seis Dias". O problema, obviamente, é que, durante centenas de milhões de anos, nossos ancestrais andaram com a espinha dorsal em posição mais ou menos horizontal, e ela não gostou nada do súbito reajuste que lhe foi imposto nestes poucos milhões de anos mais recentes. E o que eu quero demonstrar, mais uma vez, é que um verdadeiro designer, se fosse projetar um primata que anda com o corpo na vertical, teria voltado à prancheta e feito o trabalho direito, em vez de começar por um quadrúpede e ir mexendo.

Williams menciona a seguir a bolsa do coala, o icônico animal australiano, que - péssima idéia para um animal que passa seus dias agarrado a troncos de árvore — abre-se para baixo, em vez de para cima, como a dos cangurus. Mais uma vez, a razão é um legado da história. Os coalas descendem de um ancestral parecido com o vombate. Os vombates são exímios cavadores:

Jogam a terra para trás com suas patorras, como um cavador ao abrir um túnel. Se a bolsa de seus

ancestrais se abrisse na frente, os filhotes viveriam com os olhos e os dentes permanentemente cheios de sujeira. Por isso ela se abria para trás e, quando um dia a criatura subiu numa árvore, talvez para explorar uma nova fonte de alimento fresco, lá se foi junto o "design", complicado demais para mudar.

Como no caso do nervo laríngeo recorrente, teoricamente seria possível mudar a embriologia do coala para que a bolsa ficasse com a abertura na parte de cima. Porém — estou supondo — a revolução embriológica necessária para tamanha mudança deixaria os coalas intermediários em apuros ainda piores do que os coalas forçados a lidar com a situação já existente.

Outra consequência da nossa mudança de quadrúpedes para bípedes relaciona-se aos seios nasais, que incomodam muita gente (inclusive a mim, neste exato momento em que escrevo) porque sua abertura de drenagem situa-se no último lugar que um designer sensato escolheria. Williams cita um colega australiano, professor Derek Denton: "Os grandes seios ou cavidades nos maxilares ficam atrás das bochechas dos dois lados da face. Têm a abertura de drenagem no topo, o que é péssima ideia em se tratando de usar a gravidade para auxiliar a drenagem de fluido". Em um quadrúpede, o "topo" não é no topo, e sim na frente, e a posição da abertura de drenagem faz muito mais sentido: o legado da história, mais uma vez, está escrito em nosso corpo.

Williams cita outro colega australiano, também dotado do talento nacional para soltar frases impagáveis, que, referindo-se às vespas icneumonídeas, disse que o designer delas, se existisse, "seria um filho da mãe sádico". Darwin, embora fosse jovem quando visitou a Austrália, expressou o mesmo sentimento com sobriedade mais condizente com um antípoda britânico: "Não consigo me convencer de que um Deus bondoso e onipotente criaria as icneumonídeas com a expressa intenção de que elas se alimentassem do corpo vivo de lagartas". A legendária crueldade das vespas icneumonídeas (e também de suas parentes, a vespa-cavadora e o marimbondo-caçador) é um *leitmotif* que reaparecerá nos dois últimos capítulos do livro.

Acho difícil expor com clareza o que virá a seguir, mas é algo em que venho pensando há algum tempo, e amadureceu naquele memorável dia da dissecação da girafa. Quando contemplamos animais pelo lado de fora, ficamos impressionadíssimos com a elegante ilusão de que eles foram projetados. Uma girafa comendo folhas, um albatroz nas alturas, um andorinhão em pleno mergulho, um falcão investindo sobre a presa, um dragão-do-mar-folhoso invisível entre as algas-marinhas, um guepardo em disparada atrás de uma gazela que foge aos saltos e guinadas — a ilusão de design faz tanto sentido intuitivamente que temos de fato de nos esforçar para pôr em ação o pensamento crítico e superar as seduções da intuição ingênua. Isso quando olhamos os animais de fora. Quando os vemos por dentro, a

impressão é oposta. É verdade que temos a impressão de um design elegante quando vemos os simplificados diagramas nos livros didáticos, organizados e codificados por cores como uma planta de engenheiro. Mas a realidade que nos atinge quando vemos um animal aberto numa mesa de dissecação é bem diferente. Acho que seria um exercício instrutivo pedir a um engenheiro para desenhar uma versão melhorada, por exemplo, das artérias que saem do coração. Imagino que o resultado seria algo parecido com o coletor de descarga de um carro, com uma caprichada linha de canos saindo em organizada disposição, em vez da bagunça aleatória que vemos de fato quando abrimos um tórax de verdade.

Meu propósito quando passei o dia com os anatomistas dissecando a girafa era estudar o nervo laríngeo recorrente como um exemplo de imperfeição evolucionária. Mas logo me dei conta de que, em se tratando de imperfeição, esse nervo é só a ponta do iceberg. O fato de ele fazer um desvio tão grande é um testemunho extraordinariamente eloquente. Esse é o aspecto que por fim levaria um Helmholtz a devolver tal "mercadoria". Mas a impressão avassaladora que temos ao examinar qualquer parte interna do corpo de um grande animal é que ele é uma confusão! Não só um designer jamais cometeria um erro como esse desvio do nervo, mas um designer que se preze jamais perpetraria coisa alguma da barafunda que é o labirinto entrecruzado de artérias, veias, nervos, intestinos,

maços de gordura e músculo, mesentério e muito mais. Citando o biólogo americano Colin Pittendrigh, a coisa toda não passa de uma "colcha de retalhos de paliativos reunidos, por assim dizer, a partir do que estava disponível quando a oportunidade bateu à porta, e aceitos posteriormente na impresciencia, e não na presciência, da seleção natural".

12. Corridas armamentistas e teodiceia evolucionária

Olhos e nervos, canais de esperma, seios nasais e costas são mal desenhados do ponto de vista do bem-estar individual, mas as imperfeições fazem total sentido à luz da evolução. O mesmo se aplica à economia maior da natureza. Um designer inteligente, poderíamos esperar, teria projetado não só os corpos individuais dos animais e das plantas, mas também espécies inteiras, ecossistemas inteiros. Poderíamos então esperar que a natureza fosse uma economia planejada, cuidadosamente projetada para eliminar extravagâncias e desperdícios. Não é assim, como este capítulo demonstrará.

A ECONOMIA SOLAR

A economia natural é movida a energia solar. Fótons do Sol chovem sobre toda a superfície do planeta no período diurno. Muitos deles não fazem nada mais útil do que aquecer uma rocha ou uma praia arenosa. Alguns encontram seu caminho até um olho — o seu, o meu, o olho composto de um

camarão, o olho refletor parabólico de uma vieira. Alguns podem topar com um painel solar — feito pelo homem como aquele que, num ataque de zelo ecológico, acabo de instalar no telhado de casa para aquecer a água do banho, ou uma folha verde, que é o painel solar da natureza. As plantas usam a energia solar para induzir sínteses químicas "endergônicas" (uphill), fabricando combustíveis orgânicos, sobretudo açúcares. "Endergônica" significa que a síntese de açúcar precisa de energia para impeli-la; analogamente, o açúcar pode ser posteriormente "queimado" em uma reação "exergônica" (dowhnhill), que libera novamente a energia (uma fração dela) para a realização de algum trabalho útil, por exemplo, o muscular, ou o trabalho de construir o tronco de uma grande árvore. A analogia dos termos em inglês downhill ("morro abaixo") e uphill ("morro acima") é com a água que cai de um tanque elevado e move uma roda de moinho que faz um trabalho útil, ou é bombeada para cima até o tanque elevado, mediante um gasto de energia, a fim de mais tarde poder ser usada para mover a roda de moinho quando tornar a correr para baixo. A cada estágio da economia da energia, seja morro acima, seja morro abaixo, perde-se parte da energia. Nenhuma transação em energia é perfeitamente eficiente. É por isso que os departamentos de estudo de patentes não precisam sequer examinar projetos para máquinas de moto-perpétuo: elas são implacável, definitivamente inviáveis. Não é possível usar a energia da água que cai de uma roda de moinho

para bombear a mesma quantidade de água novamente para cima a fim de impelir a roda-d'água. Sempre é necessário que haja alguma energia vinda de fora para compensar o gasto, e é aí que entra o Sol. Retornarei a esse importante assunto no capítulo 13.

Grande parte da superfície terrestre do nosso planeta é coberta por folhas verdes, que constituem um captador multicamadas de fótons. Se um fóton não for captado por uma folha, há uma boa chance de que o seja por outra logo abaixo. Numa floresta densa não são muitos os fótons que deixam de ser captados e chegam ao chão, e é exatamente por isso que as florestas maduras são tão escuras para o caminhante. A maioria dos fótons da minúscula parcela dos raios solares recebidos pelo nosso planeta atinge a água, e as camadas da superfície marinha fervilham com plantas verdes unicelulares que os captam. Seja no mar, seja em terra, o processo químico que capta fótons e os usa para impelir "morro acima" as reações químicas consumidoras de energia, fabricando convenientes moléculas armazenadoras de energia como açúcares e amido, é chamado de fotossíntese. Ele foi inventado, há mais de 1 bilhão de anos, por bactérias; e bactérias verdes ainda sustentam boa parte da fotossíntese. Posso afirmar isso porque os cloroplastos — minúsculos motores fotossintéticos verdes que efetivamente fazem o trabalho da fotossíntese em todas as folhas — são os descendentes diretos de bactérias verdes. Na verdade, como eles ainda se reproduzem

autonomamente no mesmo estilo de bactérias, no interior de células vegetais, podemos dizer com acerto que eles ainda são bactérias, ainda que altamente dependentes das folhas que os abrigam e que devem a eles a sua cor. Ao que parece, originalmente bactérias verdes de vida livre foram sequestradas para o interior de células vegetais, onde por fim evoluíram e se tornaram o que hoje chamamos de cloroplastos.

E, em um fato elegantemente simétrico, assim como, em grande medida, a química da vida "morro acima" fica a cargo de bactérias verdes que vivem dentro de células vegetais, também a química "morro abaixo" do metabolismo — a lenta queima de açúcares e outros combustíveis que libera energia em células de animais e plantas — é uma especialidade de outra classe de bactérias, outrora de vida livre mas que agora se reproduzem em células maiores, onde são conhecidas como mitocôndrias. Mitocôndrias e cloroplastos, que descendem de diferentes tipos de bactéria, desenvolveram suas respectivas magias químicas complementares bilhões de anos antes da existência de qualquer organismo vivo visível a olho nu. Ambos foram posteriormente aliciados por causa de suas habilidades químicas, e hoje se multiplicam no interior líquido de células muito maiores e muito mais complexas, pertencentes a criaturas grandes o suficiente para serem vistas e tocadas — células vegetais no caso dos cloroplastos, células vegetais e animais no caso das mitocôndrias.

A energia solar captada pelos cloroplastos nas

plantas está na base de complexas cadeias alimentares nas quais a energia passa sucessivamente de plantas a herbívoros (que podem ser insetos), carnívoros (que tanto podem ser insetos ou insetívoros como lobos e leopardos), comedores de carniça (como os abutres e besouros-do-esterco) e, por fim, agentes de decomposição como os fungos e as bactérias. A cada estágio dessas cadeias alimentares, parte da energia é perdida em forma de calor quando passa de um receptor a outro, e parte é usada para impelir processos biológicos, por exemplo, contrações musculares. Nenhuma nova energia é acrescentada depois da entrada inicial proveniente do sol. Com algumas interessantes mas ínfimas exceções, como os habitantes das "chaminés" nas profundezas oceânicas, cuja energia deriva de fontes vulcânicas, toda a energia que move a vida provém, em última análise, da luz do sol, captada por plantas.

Considere uma árvore alta, imponentemente isolada em uma clareira. Por que ela é tão alta? Não é para ficar mais perto do sol! Seu longo tronco poderia ser encurtado até que a copa se esparramasse no chão, sem haver perda de fótons e a um custo bem mais econômico. Então por que arcar com todo o ônus envolvido em fazer a copa crescer na direção do céu? A resposta foge-nos até nos darmos conta de que o habitat natural de uma árvore desse tipo é a floresta. Árvores são altas para que sua copa fique acima das de árvores rivais da mesma espécie e de outras. Não se engane ao ver uma árvore em campo aberto ou

num jardim com ramos folhosos caindo até o chão. Ela tem aquela folhagem farta e bem proporcionada justamente porque está numa clareira ou num jardim. Você a vê fora de seu habitat, que é a mata cerrada. A forma natural de uma árvore na floresta é alta e de tronco nu, com a maioria dos ramos e folhas próximo ao topo, na cobertura vegetal que recebe a maior parte da chuva de fótons. E agora, uma ideia curiosa: se todas as árvores da floresta pudessem chegar a algum tipo de acordo — como uma prática sindical restritiva — combinando de não crescerem, digamos, além de cinco metros, todas se beneficiariam. A comunidade inteira — todo o ecossis¬tema — sairia ganhando com a economia de madeira e de energia consumida na formação daqueles troncos altos e dispendiosos.

A dificuldade de cultivar tais acordos de restrição mútua é bem conhecida, mesmo nos assuntos humanos, nos quais potencialmente podemos recorrer ao dom da antevisão. Um exemplo bem conhecido é o acordo tácito de sentar-se para assistir a um espetáculo como uma corrida de cavalos. Se todos ficarem sentados, ainda assim uma pessoa alta verá melhor do que uma pessoa baixa, exatamente como ocorreria se todo mundo ficasse de pé. Mas a vantagem de sentar-se é o maior conforto para todos. Os problemas começam quando alguém de baixa estatura, sentado atrás de um sujeito alto, levanta-se para ver melhor. Imediatamente quem está sentado atrás dele também se levanta, pois do contrário não verá nada. Uma onda de gente levantando-se

perpassa a plateia, até que por fim todos estão de pé. Nessa altura, todo mundo se encontra numa situação menos conveniente do que se todos estivessem sentados.

Em uma floresta madura típica, o dossel pode ser comparado a uma pradaria aérea, uma campina ondulante sobre palafitas. O dossel capta energia solar mais ou menos à mesma taxa que uma pradaria. Mas uma proporção substancial da energia é "perdida", enviada diretamente às estacas, que não fazem nada mais útil do que manter o "prado" no alto, onde ele capta exatamente a mesma quantidade de fótons que captaria, a um custo muito menor, se estivesse ao nível do chão.

E isso nos deixa face a face com a diferença entre uma economia planejada e uma economia evolucionária. Na economia planejada não existiriam árvores, ou certamente nenhuma árvore alta: sem florestas, sem dossel. Árvores são um desperdício. São esbanjadoras. Seus troncos são um monumento à competição inútil — inútil se pensarmos em uma economia planejada. Mas a economia natural não é planejada. Plantas individuais competem com outras plantas, da mesma espécie e de outras, e o resultado é crescerem cada vez mais para o alto, muito mais alto do que qualquer planejador recomendaria. Mas não indefinidamente mais alto. Chega um ponto em que ganhar mais alguns centímetros, embora proporcione uma vantagem competitiva, tem um custo tão elevado que o espécime em questão acaba em situação mais desvantajosa que

suas rivais que abrem mão dos centímetros extras. É o equilíbrio dos custos e benefícios para as árvores individualmente consideradas que por fim determina a altura que as árvores são impelidas a atingir, e não os benefícios que um planejador racional poderia calcular para as árvores como um grupo. E, obviamente, o equilíbrio dá-se a um máximo diferente nas diferentes florestas. As sequoias da costa do Pacífico (veja-as antes de morrer) provavelmente nunca foram superadas.

Imagine o que acontece em uma floresta hipotética — vamos batizá-la de Floresta da Amizade — na qual, por algum misterioso pacto, todas as árvores deram um jeito de atingir o desejável objetivo de reduzir a altura de todo o dossel para três metros. O dossel tem o mesmo aspecto de qualquer outro dossel florestal, só que, em vez de trinta metros de altura, tem apenas três. Do ponto de vista de uma economia planejada, a Floresta da Amizade é mais eficiente, como floresta, do que as matas altas a que estamos acostumados, pois não são gastos recursos na produção de grandes troncos que não têm outra função além de competir com outras árvores.

Mas agora suponhamos que uma árvore mutante brota no meio da Floresta da Amizade. Essa tratante cresce marginalmente mais do que os três metros "combinados". Imediatamente, a mutante adquire uma vantagem competitiva. É verdade que precisa pagar o custo do comprimento extra do tronco. Mas este é mais do que compensado, enquanto todas as outras árvores obedecerem à

regra da renúncia, pois os fótons extras captados mais que compensam o custo adicional de alongar o tronco. Assim, a seleção natural favorece a tendência genética a transgredir a regra da renúncia e crescer um pouquinho mais — digamos para 3,30 metros. Com o passar das gerações, cada vez mais árvores transgridem a restrição de altura. Quando finalmente todas as árvores da floresta tiverem 3,30 metros de altura, estarão todas em situação menos vantajosa do que antes: todas pagando o preço de crescer os trinta centímetros extras. Mas não estarão ganhando nenhum fóton adicional por isso. E agora a seleção natural favorece qualquer tendência mutante a crescer para, digamos, 3,60 metros. E assim as árvores vão ficando cada vez mais altas. Essa vã escalada em direção ao Sol terminará um dia? Por que não existem árvores com um quilômetro de altura? Por que não um pé de feijão como o que João escalou no conto de fadas? O limite é dado pela altura em que o custo marginal de crescer outros trinta centímetros excede o ganho em fótons de crescer esses trinta centímetros extras.

Estamos falando em custos e benefícios individuais ao longo de toda esta argumentação. A floresta teria um aspecto bem diferente se sua economia houvesse sido planejada tendo em mente o benefício da floresta como um todo. Na verdade, o que realmente vemos é uma floresta na qual cada espécie de árvore evoluiu por uma seleção natural que favoreceu árvores individuais que venceram na competição com árvores individuais rivais, da mesma espécie ou de outras. Tudo o que diz

respeito às árvores é compatível com a idéia de que elas não são planejadas — a menos, evidentemente, que fossem planejadas para nos fornecer madeira, deleitar nossos olhos e lisonjear nossas cameras no outono de New England. E não falta na história quem acredite justamente nisso; assim, tratemos agora de um caso paralelo no qual é mais difícil alegar benefícios para a humanidade: a corrida armamentista entre caçadores e presas.

CORRER PARA NÃO SAIR DO LUGAR

Os cinco mais velozes corredores de espécies mamíferas são o guepardo, a antilocapra (que muitos na América chamam de "antílope", embora não seja parente próxima dos "verdadeiros" antílopes da África), o gnu (ou wildebeest, um verdadeiro antílope, apesar de não ser muito parecido com os outros), o leão e a gazela-de-thomson (outro antílope verdadeiro, com aparência de antílope e pequeno porte). Repare que esses corredores de elite são uma mistura de caçadores e caçados, e quero mostrar aqui que isso não ocorre por acaso.

Dizem que o guepardo é capaz de acelerar de zero a sessenta quilômetros por hora em três segundos, portanto é páreo para urna Ferrari, um Porsche ou um Tesla. Também o leão tem uma aceleração formidável, melhor até que a da gazela, que por sua vez tem mais resistência e habilidade de fintar. Os felinos em geral têm uma estrutura própria para as corridas de fundo e para dar o bote em presas pegas de surpresa; os canídeos, como o

cachorro-selvagem-africano e o lobo, são bons para as corridas de resistência, que esgotam suas presas. As gazelas e outros antílopes precisam defender-se desses dois tipos de predador, e talvez tenham de encontrar uma solução que concilie as duas necessidades. Sua aceleração não é tão boa quanto a de um grande felino, mas sua resistência é maior. Uma gazela-de-thomson pode, fintando, desviar-se de um guepardo em disparada, postergando assim a fuga até que o guepardo tenha passado de sua fase de aceleração máxima à fase de exaustão, quando sua resistência inferior começa a influir. As caçadas bem-sucedidas de um guepardo geralmente terminam logo depois de começar, e são baseadas na surpresa e aceleração. Caçadas de guepardo malsucedidas também terminam cedo, com o guepardo desistindo para poupar energia quando sua arrancada falha. Em suma: todas as caçadas de guepardo são breves!

Não importam os detalhes das velocidades e acelerações máximas, da resistência e das fintas, da surpresa e da perseguição sem trégua. O fato relevante é que entre os seres mais velozes estão animais que caçam e animais que são caçados. A seleção natural impele espécies predadoras a tornar-se cada vez melhores em apanhar presas, e simultaneamente impele espécies que são caçadas a tornar-se cada vez melhores em escapar dos caçadores. Predadores e presas apostam uma corrida armamentista evolucionária, disputada no tempo evolucionário. O resultado tem sido uma constante escalada na quantidade

de recursos econômicos que os animais, dos dois lados, despendem na corrida armamentista, em detrimento de outros departamentos de sua economia corporal. Caçadores e caçados tornam-se cada vez mais bem equipados para correr mais do que (ou surpreender, ou sobrepujar em astúcia etc.) o outro lado. Mas um equipamento aprimorado para correr mais não se traduz obviamente em mais sucesso numa corrida, pela simples razão de que, numa corrida armamentista, o outro lado também está aprimorando seu equipamento: essa é a marca registrada das corridas armamentistas. Poderíamos dizer, como explicou a Rainha de Copas a Alice, que eles correm o mais rápido possível para não sair do lugar.

Darwin tinha plena noção das corridas armamentistas evolucionárias, embora não usasse essa expressão. Meu colega John Krebs e eu publicamos um artigo sobre o tema em 1979, no qual atribuímos a expressão "corrida armamentista" ao biólogo britânico Hugh Cott. Talvez significativamente, Cott publicou seu livro, Adaptive coloration in animais, em 1940, em plena Segunda Guerra Mundial:

Antes de afirmar que a aparência enganosa de um gafanhoto ou borboleta é desnecessariamente detalhada, primeiro devemos verificar quais são os poderes de percepção e discriminação dos inimigos naturais desses insetos. Não fazê-lo é como dizer que a blindagem de um cruzador é pesada demais ou que seu conjunto de canhões é demasiado grande, sem investigar a natureza e a

eficácia do armamento do inimigo. O fato é que, na primeva luta da selva, assim como nos refinamentos da guerra civilizada, vemos em progresso uma grande corrida armamentista evolucionária — cujos resultados, para a defesa, manifestam-se em recursos como velocidade, estado de alerta, couraça, espinescência, hábitos subterrâneos, hábitos noturnos, secreções venenosas, gosto nauseante e coloração procríptica, aposemática e mimética; e, para o ataque, em atributos compensadores como velocidade, surpresa, emboscada, atração, acuidade visual, garras, dentes, ferrões, presas venenosas e coloração anticríptica e atrativa. Assim como a velocidade do perseguido desenvolveu-se em relação a um aumento na velocidade do perseguidor, ou uma couraça defensiva em relação a armas ofensivas, também a perfeição de recursos de disfarce evoluiu em resposta a poderes crescentes de percepção.

Saliento que a corrida armamentista é disputada no tempo evolucionário. Não deve ser confundida com as corridas entre, por exemplo, um guepardo individual e uma gazela individual, que é disputada em tempo real. A corrida no tempo evolucionário é uma corrida que desenvolve equipamento para as corridas em tempo real. E o que isso realmente significa é que os genes para produzir o equipamento destinado a vencer o adversário em esperteza ou velocidade acumulam-se nos reservatórios gênicos de ambos os lados. Segundo — e este é um aspecto que o próprio Darwin

conhecia muito bem — o equipamento para correr mais depressa é usado para superar na corrida os rivais da mesma espécie, que estão fugindo do mesmo predador. Vem bem a calhar a velha piada com tons esopianos sobre os tênis de corrida e o urso. Quando um guepardo caça uma manada de gazelas, pode ser mais importante para uma gazela correr mais rápido do que o membro mais lento da manada do que ser mais veloz do que o guepardo.

Agora que introduzi a terminologia da corrida armamentista, você pode ver que as árvores numa floresta também estão participando de uma. Árvores individuais correm na direção do sol, contra suas vizinhas imediatas na floresta. Essa corrida é particularmente acirrada quando uma árvore antiga morre e deixa um espaço vago no dossel. O estrondo da velha árvore que tomba é o tiro de largada para uma corrida, em tempo real (embora um tempo real mais lento do que aquele a que nós, animais, estamos acostumados), entre árvores novas que vinham esperando justamente por uma chance dessas. E a vencedora provavelmente será uma árvore individual bem equipada, com genes que prosperaram através de corridas armamentistas ancestrais no tempo evolucionário, para crescer depressa e alto.

A corrida armamentista entre espécies de árvores florestais é uma corrida simétrica. Ambos os lados tentam atingir um mesmo objetivo: um lugar no dossel. A corrida armamentista entre predadores e presas é assimétrica: uma corrida entre armas de ataque e armas de defesa. O mesmo vale para a

corrida armamentista entre parasitas e hospedeiros. E existem, inclusive, embora possa parecer surpreendente, corridas entre machos e fêmeas de uma mesma espécie, e entre genitores e prole.

Um aspecto das corridas armamentistas que pode preocupar os entusiastas do design inteligente é a pesada dose de inutilidade que as onera. Se é para postular um criador do guepardo, ele evidentemente há de ter empregado todo o seu engenho como projetista na tarefa de elaborar um supremo matador. Um vislumbre dessa magnífica máquina de correr não deixa dúvidas. O guepardo, se vamos falar em design, é esplendidamente projetado para matar gazelas. Mas o mesmíssimo designer também se desdobrou o quanto pôde para projetar uma gazela magnificamente equipada para escapar desses mesmos guepardos. Afinal de contas, do lado de quem esse designer está? Quando vemos os músculos poderosos e a espinha flexível do guepardo, temos de concluir que o designer quer que esse felino vença a corrida. Mas quando olhamos a gazela galopando, fintando e saltando veloz como um relâmpago, chegamos à conclusão oposta. Será que a mão esquerda do criador sabe o que faz a mão direita? Será ele um sádico que se deleita com o esporte de espectador e vive aumentando a parada para os dois lados a fim de dar mais emoção à caçada? "Ele que fez o cordeiro, fez a ti?"

Será mesmo parte do desígnio divino que o lobo e o cordeiro pastarão juntos e que o leão comerá palha como o boi? Nesse caso, o que explica os

formidáveis dentes carnívoros, as garras assassinas do leão e do leopardo? Para que a assombrosa velocidade e a ágil arte da fuga do antílope e da zebra? Nem é preciso dizer que nenhum problema desse teor ocorre na interpretação evolucionária do que está acontecendo. Cada lado está se esforçando para superar o outro porque, tanto para um como para o outro, os indivíduos que forem bem-sucedidos automaticamente transmitirão os genes que contribuíram para seu êxito. Ideias sobre "inutilidade" e "desperdício" vêm-nos à mente porque somos humanos, capazes de analisar a situação com base nas vantagens para todo o ecossistema. A seleção natural só se importa com a sobrevivência e reprodução de genes individuais. O mesmo se dá com as árvores na floresta. Assim como cada árvore tem sua economia, na qual os bens que são investidos no tronco não são disponíveis para as frutas ou folhas, também o guepardo e a gazela têm, cada qual, sua economia interna. Correr velozmente é custoso, não só em energia que, em última análise, é extraída do sol, mas nos materiais que participam da formação dos músculos, ossos e tendões — o maquinário da velocidade e aceleração. O alimento que a gazela ingere sob a forma de matéria vegetal é finito. O que quer que seja gasto em músculos e longas pernas para correr tem de ser subtraído de algum outro departamento da vida, por exemplo, o da produção de descendentes, no qual idealmente o animal poderia "preferir" gastar seus recursos. Existe uma complexa compatibilização de soluções

que deve ser administrada no nível micro da economia corporal. Não temos como saber os detalhes, mas sabemos (pois é uma lei inviolável da economia) que é possível gastar demais em um departamento da vida e, em consequência, retirar recursos de algum outro departamento. Um indivíduo que despenda mais do que a quantidade ideal em correr pode salvar a própria pele. Mas nas competições darwinianas ele será suplantado por um indivíduo rival da mesma espécie que economize um pouco na velocidade de sua corrida, enfrentando assim maior risco de ser comido, mas atinja a compatibilização certa e termine com mais descendentes para transmitir os genes que levam à compatibilização certa.

Não são apenas a energia e os dispendiosos materiais que precisam ser corretamente contrabalançados. Há também o risco — e este também não é estranho aos cálculos dos economistas. Pernas longas e finas são boas para correr depressa. Inevitavelmente, também são boas para sofrer fraturas. É frequente um cavalo de corrida quebrar uma perna numa competição, sendo então, normalmente, abatido de imediato. Como vimos no capítulo 3, a razão de serem tão vulneráveis é que seus criadores promoveram a reprodução de seus progenitores tendo em vista a velocidade, em detrimento de tudo o mais. Gazelas e guepardos também foram seletivamente favorecidos na reprodução em função da velocidade — uma seleção natural, e não artificial —, e também seriam vulneráveis a fraturas se a natureza houvesse exagerado na ênfase sobre a

velocidade. Mas a natureza nunca favorece uma reprodução que leve a um excesso. A natureza leva à compatibilização. O mundo está repleto de genes conducentes à compatibilização: é por isso que eles são encontrados! O que isso significa na prática é que os indivíduos com uma tendência genética a adquirir pernas excepcionalmente longas e esguias, as quais são reconhecidamente superiores para correr, têm menor probabilidade de transmitir seus genes, em média, do que indivíduos ligeiramente menos velozes cujas pernas menos esguias têm menor probabilidade de sofrer fraturas. Esse é apenas um exemplo hipotético das centenas e centenas de trade-offs e soluções conciliatórias que todos os animais e as plantas têm de administrar. Eles fazem malabarismo com os riscos e com os trade-offs econômicos. Obviamente não são os animais e as plantas individuais considerados que fazem todo esse malabarismo. É a seleção natural que faz os malabarismos e compatibiliza os números relativos de genes alternativos nos reservatórios gênicos,

Como seria de se esperar, o nível ótimo em um trade-off não é fixo. Nas gazelas, o trade-off entre a velocidade da corrida e outras demandas da economia corporal mudará o ponto ótimo dependendo da prevalência de carnívoros na área. É o mesmo caso dos lebistes visto no capítulo 5. Havendo poucos predadores por perto, o comprimento ótimo da perna da gazela diminuirá; os indivíduos mais bem-sucedidos serão aqueles cujos genes os predispõem a desviar parte da energia e material das pernas para, digamos,

produzir filhotes ou acumular gordura para o inverno. Esses serão também os indivíduos com menor probabilidade de quebrar uma perna. Inversamente, se aumentar o número de predadores, o equilíbrio ótimo mudará em direção a pernas mais compridas, maior perigo de fraturas e menor gasto de energia e material nos aspectos da economia corporal não voltados para a velocidade na corrida.

Exatamente os mesmos tipos de cálculos implícitos serão a base dos níveis ótimos na compatibilização para os predadores. Uma fêmea de guepardo que fraturar a perna sem dúvida morrerá de fome, junto com seus filhotes. Porém, dependendo do grau de dificuldade para encontrar comida, o risco de não conseguir caçar alimento suficiente se ela não correr depressa o bastante supera o risco de quebrar uma perna quando a fêmea é bem equipada para correr velozmente.

Predadores e presas estão enredados numa corrida armamentista na qual cada lado inadvertidamente pressiona o outro para mudar seu ponto ótimo — na economia e nos riscos de vida — cada vez mais na mesma direção: seja em um sentido literal, por exemplo, na direção do aumento da velocidade da corrida, seja no sentido mais vago de privilegiar a corrida armamentista entre predadores e presas em detrimento de outro departamento da vida, como a produção de leite. Uma vez que ambos os lados precisam compatibilizar os riscos, digamos, de correr depressa demais (quebrar uma perna ou deixar faltar as outras partes da economia corporal) com

os riscos de correr demasiado devagar (não apanhar presas ou não escapar, respectivamente), cada lado empurra o outro na mesma direção, numa espécie de impiedosa folie à deux.

Bem, talvez folie (loucura) não faça justiça à seriedade do assunto, pois a pena pelo fracasso, para ambos os lados, é a morte — ser abatido, no caso da presa, e morrer de inanição no caso do predador. Mas à deux capta bem a ideia de que, se caçador e caça se sentassem juntos e conversassem até chegar a um acordo sensato, todos sairiam ganhando. Assim como no caso das árvores da Floresta da Amizade, é fácil ver como um pacto dessa natureza os beneficiaria, contanto que fosse possível impor seu cumprimento. A mesma sensação de inutilidade que encontramos na floresta permeia toda a corrida armamentista entre predadores e presas. No decorrer do tempo evolucionário, predadores tornam-se mais hábeis na caça, o que impele as presas a tornar-se melhores na fuga. Ambos os lados paralelamente aprimoram seu equipamento de sobrevivência, mas não necessariamente sobrevivem melhor, pois o outro lado também aprimora o seu respectivo equipamento.

Por outro lado, é fácil ver que um planejador central, tendo em vista o bem-estar de toda a comunidade, poderia arbitrar um acordo nos termos a seguir, inspirado na Floresta da Amizade. Os dois lados devem "concordar" em uma desescalada armamentista: ambos os lados desviarão recursos para outros departamentos da vida, e como resultado todos ficarão em melhor

situação. Exatamente o que, é óbvio, ocorreria em uma corrida armamentista humana. Não precisaríamos dos nossos combatentes se vocês não tivessem seus bombardeiros. Vocês não precisariam dos seus mísseis se não possuíssemos os nossos. Poderíamos economizar bilhões se reduzíssemos à metade nossos gastos com armamentos e empregássemos o dinheiro em arados. E agora que já cortamos pela metade nosso orçamento bélico e chegamos a um empate estável, façamos nova redução à metade. O segredo é sincronizar o processo de modo que cada lado permaneça exatamente tão bem equipado quanto for preciso para contrabalançar a desescalada no orçamento bélico do outro. Essa desescalada planejada tem de ser exatamente assim: planejada. E, mais uma vez, planejamento é justamente o que não existe na evolução. Assim como no caso das árvores da floresta, a escalação é inevitável, até o momento em que não mais compense para nenhum indivíduo típico continuar a escalada. A evolução, ao contrário de um planejador, nunca para a fim de pensar se poderia haver um modo melhor — um modo mutualístico — para todos os envolvidos, em vez de uma escalada bilateral em função de uma vantagem egoísta: uma vantagem que é neutralizada precisamente porque a escalada é mútua.

Há tempos a tentação de pensar como um planejador é disseminada entre os "pop-ecologistas", e até ecologistas acadêmicos às vezes chegam perigosa mente perto disso. A tentadora idéia de que há "predadores prudentes",

por exemplo, foi sonhada não por algum ambientalista fanático e despreparado, mas por um eminente ecologista americano.

Eis a idéia dos predadores prudentes. Todos sabemos que, do ponto de vista da humanidade como um todo, seria melhor se todos nos abstivéssemos de praticar a pesca predatória de importantes espécies alimentícias, como o bacalhau, até extingui-las. É por isso que governos e ONGS reúnem-se solenemente para estipular cotas e restrições. É por isso que o tamanho exato das malhas de redes de pesca é minuciosamente especificado por decreto governamental, e é por isso que canhoneiras patrulham os mares contra traineiras transgressoras. Nós, humanos, quando estamos em nossos melhores dias e quando somos adequadamente policiados, somos "predadores prudentes". Portanto — assim parece a certos ecologistas —, não deveríamos esperar que os predadores selvagens, como lobos e leões, também fossem predadores prudentes? A resposta é não. Não. Não. Não. E vale a pena entender o porquê, pois é uma questão interessante, e as árvores florestais e todo este capítulo devem ter nos preparado para ela.

Um planejador — um designer de ecossistemas que tem em mente o bem-estar de toda a comunidade de animais na natureza — poderia, de fato, calcular uma política de apartação ótima que os leões, por exemplo, idealmente deveriam adotar. Não abata mais do que certa cota de qualquer das espécies de antílope. Poupe as fêmeas grávidas e não mate adultos jovens ricos

em potencial reprodutivo. Evite comer membros de espécies raras, que podem estar ameaçados de extinção e que talvez no futuro venham a ser úteis, se as condições mudarem; se todos os leões da região respeitassem as normas e cotas pactuadas, cuidadosamente calculadas para serem "sustentáveis", não seria ótimo? E muito sensato. Se!

Bem, sensato seria, e é isso que um designer prescreveria, ao menos se tivesse em mente o bem-estar do ecossistema. Mas não é o que a seleção natural prescreveria (sobretudo porque a seleção natural, que não tem antevisão, não pode prescrever coisa alguma), e não é o que acontece! Eis o porquê, e mais uma vez a história é como a das árvores na floresta. Imagine que, por alguma façanha de diplomacia leonina, uma maioria de leões em certa área consiga chegar a um acordo de limitar sua caça a níveis sustentáveis. Mas agora suponha que nessa população comedida e imbuída de espírito público surja um gene mutante que leve um leão a transgredir o acordo e explorar a população das presas ao máximo, inclusive ao nível de risco de extinção da espécie. A seleção natural penalizaria o gene egoísta rebelde? Infelizmente não. Os descendentes do leão rebelde, possuidores do gene rebelde, venceriam a competição reprodutiva contra seus rivais na população leonina. Dentro de poucas gerações, o gene rebelde se disseminaria por toda a população e não restaria nada do pacto amistoso. O indivíduo que fica com a parte do leão transmite a seus descendentes os genes que o predispõem a isso.

Mas — indagará o fã do planejamento —, quando todos os leões estiverem se comportando de modo egoísta e caçando excessivamente a espécie de presas até o ponto de extinção, todos estarão em pior situação, inclusive os indivíduos que forem caçadores mais bem-sucedidos. Em última análise, se todas as presas se extinguirem, a população inteira de leões também perecerá. Decerto, insiste o adepto do planejamento, a seleção natural há de interferir de modo a impedir que isso aconteça, não? Mais uma vez, infelizmente, a resposta é não. O problema é que a seleção natural não "interfere", a seleção natural não vê o futuro, e a seleção natural não escolhe entre grupos rivais. Se o fizesse, haveria alguma chance de que a predação prudente fosse favorecida. A seleção natural, como Darwin percebeu muito mais claramente do que muitos dos seus sucessores, escolhe entre indivíduos rivais de uma população. Mesmo se, movida pela competição individual, toda a população estiver resvalando para a extinção, a seleção natural ainda assim favorecerá os indivíduos mais competitivos até o momento em que o último deles morrer. A seleção natural pode impelir uma população para a extinção enquanto favorece constantemente, até o amargo fim, os genes competitivos que estão destinados a ser os últimos a se extinguir. O planejador hipotético que imaginei é um certo tipo de economista, um economista da escola do bem-estar social que calcula uma estratégia ótima para toda a população, ou todo o ecossistema. Se temos de fazer analogias econômicas, devemos

pensar, isto sim, na "mão invisível" de Adam Smith.

TEODICEIA EVOLUCIONÁRIA?

Mas agora quero deixar de lado a economia. Continuaremos com a idéia de um planejador, um designer, mas nosso planejador será um filósofo moral em vez de um economista. Um designer benevolente poderia — pensaríamos idealisticamente — procurar minimizar o sofrimento. Isso não é incompatível com o bem-estar econômico, mas o sistema criado diferirá nos detalhes. E, mais uma vez, isso infelizmente não ocorre na natureza. Por que deveria? É terrível, mas é uma verdade que o sofrimento entre os animais selvagens é tão dilacerante que as almas sensíveis fariam bem se não refletissem muito a esse respeito. Darwin sabia do que estava falando quando, em carta a seu amigo Hooker comentou: "Que livro um capelão do diabo não escreveria sobre as desajeitadas, perdulárias, toscamente inferiores e horrivelmente cruéis obras da natureza!". A memorável expressão "capelão do diabo" deu-me o título para um livro, e em outro expus a questão como a seguir:

A natureza não é bondosa nem perversa. Não é contra nem a favor do sofrimento. A natureza não está interessada no sofrimento de um modo ou de outro a menos que ele afete a sobrevivência do DNA. É fácil imaginar, por exemplo, um gene que tranquilizasse as gazelas quando elas estivessem

prestes a receber uma mordida letal. Um gene assim seria favorecido pela seleção natural? Não, a menos que o ato de tranquilizar uma gazela aumentasse as chances de esse gene propagar-se por gerações futuras. Não há uma razão concebível para que tal coisa deva ocorrer, portanto podemos supor que as gazelas sofrem dor e medo horríveis quando são perseguidas até a morte — e a maioria delas acaba sendo. A quantidade total de sofrimento por ano no mundo natural está além da nossa capacidade de imaginação. Durante o minuto que levo para compor esta frase, milhares de animais estão sendo devorados vivos, outros correm para salvar a vida, gemendo de pavor, outros são lentamente devorados por dentro por parasitas enervantes, milhares de todos os tipos estão sucumbindo de fome, sede e doença. Tem de ser assim. Se já houve uma época de abundância, esse mesmo fato automaticamente leva a um aumento na população até que o estado natural de fome e sofrimento seja restaurado.

Os parasitas provavelmente causam ainda mais sofrimento do que os predadores, e compreender sua lógica evolucionária aumenta, em vez de atenuar, a impressão de inutilidade que temos ao contemplá-los. Eu os amaldiçoo toda vez que fico resfriado (como agora, por sinal). Pode ser apenas um incômodo menor, mas é tão sem sentido! Quem é comido por uma sucuri ao menos se consola com a ideia de que contribuiu para o bem-estar de um dos prodígios da natureza. Se você for

devorado por um tigre, talvez seu último pensamento seja "que mão ou olho imortal moldaria tua atroz simetria? (Em que profundezas ou céus distantes arde o fogo dos teus olhos?)". Mas um vírus! Um vírus tem a inutilidade estampada em seu próprio DNA — na verdade, RNA, no caso do vírus comum do resfriado, mas o princípio é o mesmo. Um vírus existe com a li nica finalidade de produzir mais vírus. É verdade que, em última análise, isso também vale para tigres e cobras, mas o caso destes não nos parece tão inútil! O tigre e a cobra podem ser máquinas replicadoras de DNA, mas são belas, elegantes, complexas e dispendiosas máquinas replicadoras de DNA. EU dei dinheiro para preservar o tigre, mas quem pensaria em fazer uma doação para preservar o resfriado comum? É a inutilidade dele que me incomoda enquanto, ofegante, assoo o nariz pela enésima vez.

Inutilidade? Que disparate! Disparate humano, sentimental. A seleção natural é a própria inutilidade. Tem por base a sobrevivência de instruções autorreplicantes para a autorreplicação. Se uma variante de DNA sobrevive por intermédio de uma sucuri que me engole inteiro, ou se uma variante de RNA sobrevive fazendo-me espirrar, aí está tudo de que precisamos para uma explicação. Vírus e tigres são, ambos, construídos por instruções codificadas cuja mensagem essencial é como a de um virus de computador: "duplique-me". No caso do virus do resfriado, a instrução é executada de modo muito direto. O DNA de um tigre também é um programa "duplique-me", mas

contém uma digressão quase fantasticamente enorme como parte essencial da execução eficiente de sua mensagem fundamental. Essa digressão é o tigre com toda a sua parafernália de dentes, garras, músculos para correr, instintos de espreitar e atacar. O DNA do tigre diz: "duplique-me pela tortuosa rota de primeiramente construir um tigre". Ao mesmo tempo, o DNA do antílope diz: "duplique-me pela tortuosa rota de primeiro construir um antílope, equipado com pernas longas e músculos velozes, instintos ariscos e órgãos finamente sintonizados para o perigo representado pelos tigres". O sofrimento é um subproduto da evolução por seleção natural, uma consequência inevitável que pode nos causar preocupação em nossos momentos de solidariedade, mas que não podemos esperar que faça parte das preocupações de um tigre, mesmo se fosse possível dizer que os tigres se preocupam, e certamente não podemos esperar que seja uma preocupação dos genes dele.

Os teólogos preocupam-se com os problemas do sofrimento e do mal e até inventaram um nome, "teodiceia" (literalmente, "justiça de Deus") para o empreendimento de tentar conciliar essas duas coisas com a pressuposta benevolência divina. Os biólogos evolucionários não veem problema a ser explicado, pois o mal e o sofrimento não entram, de nenhum modo, nos cálculos da sobrevivência dos genes. Ainda assim, precisamos refletir sobre o problema da dor. De onde ela vem, do ponto de vista evolucionário?

A dor é, como supomos que tudo o mais na vida

seja, um recurso darwiniano que funciona de modo a aumentar as chances de sobrevivência do sofredor. Os cérebros são construídos com uma regrinha prática mais ou menos assim: "se você sentir dor, pare o que quer que esteja fazendo e não torne a fazê-lo". Ainda está em aberto o interessante debate sobre por que raios tem de doer tanto. Teoricamente, pensaríamos, o equivalente a uma bandeirinha vermelha poderia agitar-se no cérebro sem causar dor sempre que o animal fizesse algo que o prejudicasse, como pegar um carvão em brasa. Uma advertência imperativa, "não faça isso de novo!", ou uma mudança indolor no diagrama das conexões do cérebro de modo que, efetivamente, o animal não tornasse a fazer isso, à primeira vista poderia parecer suficiente. Por que a torturante agonia, que pode durar dias a fio e da qual a memória às vezes nunca mais se livra? Talvez embrenhar-se nessa questão seja a versão da teoria evolucionária para a teodiceia. Por que tão doloroso? Por que não a bandeirinha vermelha?

Não tenho uma resposta decisiva. Uma possibilidade fascinante é: e se o cérebro for sujeito a desejos e impulsos opostos e houver algum tipo de luta interna entre eles? Subjetivamente conhecemos muito bem essa sensação. Podemos estar em conflito entre, por exemplo, a fome e o desejo de ter um corpo esbelto. Ou em um conflito entre raiva e medo. Ou entre desejo sexual e um acanhado medo de rejeição, ou uma consciência que recomenda a fidelidade. Podemos literalmente sentir o cabo-de-

guerra dentro de nós enquanto nossos desejos conflitantes se digladiam. Agora voltemos à dor e à sua possível superioridade sobre a "bandeira vermelha". Assim como o desejo de ter um corpo esbelto pode prevalecer sobre a fome, é claramente possível vencer o desejo de escapar à dor. Vítimas de tortura podem finalmente sucumbir, mas muitas passam por uma fase em que suportam dores consideráveis para, por exemplo, não trair seus companheiros, seu país ou sua ideologia. Uma vez que podemos dizer que a seleção natural "quer" alguma coisa, ela não quer que os indivíduos sacrifiquem-se por amor a um país ou em nome de uma ideologia, um partido, um grupo ou uma espécie. A seleção natural "opõe-se" a que os indivíduos superem a sensação da dor. A seleção natural "quer" que sobrevivamos ou, mais especificamente, que nos reproduzamos, e danem-se o país, a ideologia ou seus equivalentes não humanos. No que diz respeito à seleção natural, bandeirinhas vermelhas só seriam favorecidas se jamais fossem desobedecidas.

Ora, apesar das dificuldades filosóficas, creio que os casos em que a dor seria desconsiderada por razões não darwinianas — razões de lealdade ao país, ideologia etc. — seriam mais frequentes caso tivéssemos uma "bandeira ver-melha" no cérebro em vez de uma dor real, insuportável, irrestrita. Suponha que surgissem mutantes genéticos que não sentissem a excruciante agonia da dor, mas dependessem de um sistema de "bandeiras vermelhas" para prevenir danos corporais. Seria para eles tão fácil resistir à tortura que

prontamente os recrutariam como espiões. Só que seria tão fácil recrutar agentes preparados para suportar a tortura que esta simplesmente pararia de ser usada como método de extorsão. No entanto, em estado natural, esses mutantes livres de dor graças à bandeirinha vermelha poderiam sobreviver melhor do que indivíduos rivais cujo cérebro leva a dor a sério? Eles sobreviveriam para transmitir os genes produtores da bandeirinha vermelha? Mesmo se deixarmos de lado a circunstância especial da tortura, acho que está claro que a resposta deve ser não. E podemos imaginar equivalentes não humanos.

É interessante o fato de que existem indivíduos aberrantes que não são capazes de sentir dor, e eles geralmente têm um fim triste. "Insensibilidade congênita à dor com anidrose" (CIPA, na sigla em inglês) é uma anomalia genética rara na qual o paciente não possui células receptoras na pele (e também não transpira — a "anidrose"). Reconhecidamente, os portadores de CIPA não têm um sistema de "bandeira vermelha" inato que compense a falha do sistema da dor, mas poderíamos pensar que seria possível ensiná-los a ser cognitivamente alertas para a necessidade de evitar danos corporais — um sistema de bandeira vermelha aprendido. Em todos os casos, portadores de CIPA sucumbem a uma variedade de consequências funestas de sua incapacidade de sentir dor, como queimaduras, fraturas, cicatrizes múltiplas, infecções, apendicite não tratada e arranhões no globo ocular. Outro problema, este mais inesperado, são as lesões nas articulações,

pois, ao contrário do resto de nós, eles não mudam de postura depois de se manter sentados ou deitados numa só posição por longo tempo. Alguns pacientes programam um timer para lembrá-los de mudar de posição frequentemente no decorrer do dia.

Mesmo se um sistema de "bandeira vermelha" no cérebro pudesse ser tornado eficaz, não parece haver razão alguma para que a seleção natural viesse a favorecê-lo decididamente em detrimento de um sistema de dor verdadeira só porque ele é menos desagradável. Ao contrário do nosso designer hipoteticamente benévolo, a seleção natural é indiferente à intensidade do sofrimento, exceto quando ele afeta a sobrevivência e a reprodução. E, exatamente como esperaríamos se a sobrevivência dos mais aptos, e não uma criação planejada, alicerçasse o mundo natural, este parece não tomar providência alguma para reduzir o total de sofrimento. Stephen Jay Gould refletiu sobre essa questão em um elegante ensaio sobre a "natureza amoral". Foi nesse texto que tomei conhecimento de que a célebre indignação de Darwin com as vespas icneumonídeas, citada no fim do capítulo anterior, está longe de ser ímpar entre os pensadores vitorianos.

As vespas icneumonídeas, com seu hábito de paralisar mas não matar a vítima e desovar dentro dela para que depois a larva a devore de dentro para fora, assim como a crueldade da natureza em geral, foram uma grande preocupação da teodiceia vitoriana. É fácil ver por quê. As vespas depositam seus ovos em insetos vivos, por exemplo, lagartas,

porém antes sondam cuidadosamente com o ferrão cada gânglio nervoso, de modo que a presa fique paralisada mas continue viva. Ela tem de ser mantida viva para fornecer comida fresca às larvas de vespa que crescem em seu interior. E a larva, por sua vez, tem o cuidado de devorar os órgãos internos em uma ordem meticulosa. Começa pelo corpo gorduroso e órgãos digestivos, deixando para o final o coração e o sistema nervoso, órgãos vitais para manter a lagarta viva. Como Darwin se perguntou, condoído: que tipo de criador benevolente sonharia com uma coisa dessas? Não sei se as lagartas sentem dor. Torço ardentemente para que não. Mas o que sei é que, seja como for, a seleção natural nada faria para atenuar a dor delas se o trabalho pudesse ser realizado de maneira mais econômica simplesmente paralisando seus movimentos.
Gould cita o reverendo William Buckland, eminente geólogo oitocentista, que se consolava com o arrazoado otimista que conseguiu urdir para justificar o sofrimento causado pelos carnívoros:

O decreto de morte por intermédio dos carnívoros como o término usual da existência animal parece portanto, em seus principais resultados, ser obra da benevolência; deduz muito do total agregado de dor da morte universal; abrevia, e quase aniquila, em toda a criação bruta, o sofrimento da doença, das lesões acidentais e da prolongada decrepitude, e impõe tal restrição salutar sobre o aumento excessivo dos números que a oferta de alimento mantém-se perpetuamente em

adequada proporção com a demanda. O resultado é que a superfície da terra e as profundezas das águas estão sempre apinhadas de miríades de seres animados, em cuja vida os prazeres e sua duração são coextensivos, e que cumprem com alegria, ao longo de todo o breve dia de existência que lhes é concedido, as funções para as quais foram criados.

Que sorte a deles, não?

13- Há grandeza nessa visão da vida

Em contraste com Erasmus, seu avô evolucionista cuja veia poético-científica era (surpreendentemente, devo dizer) admirada por Wordsworth e Coleridge, Charles Darwin não era conhecido como um poeta, mas produziu um crescendo lírico no último parágrafo de A origem das espécies.

Assim, da guerra da natureza, da fome e da morte surge diretamente o mais excelso objeto que somos capazes de conceber, a produção dos animais superiores. Há grandeza nessa visão da vida, com seus vários poderes, insuflada que foi originalmente em algumas formas ou em uma, e no fato de que, enquanto este planeta prossegue em seu giro de conformidade com a imutável lei da gravidade, de um começo tão simples evoluíram e continuam a evoluir infindáveis formas belíssimas e fascinantes.*

Essa famosa peroração é rica de significados, e quero endossá-la analisando linha por linha.

"DA GUERRA DA NATUREZA, DA FOME E DA MORTE"

Com sua lucidez habitual, Darwin reconheceu o paradoxo moral no cerne de sua grande teoria. Ele não mediu palavras, mas ofereceu a lenitiva reflexão de que a natureza não tem más intenções. Acontece apenas que tudo decorre das "leis que atuam à nossa volta", citando uma sentença anterior do mesmo parágrafo. No final do capítulo 7 de Origem ele dissera coisa semelhante:

Pode não ser uma dedução lógica, mas na minha imaginação é muito mais satisfatório ver instintos como o do jovem cuco que expulsa seus irmãos adotivos, o das formigas que escravizam e o das larvas de icneumonídeas que se alimentam dentro do corpo vivo de lagartas, não como instintos especialmente legados ou criados, mas como consequências secundárias de uma lei geral conducente ao avanço de todos os seres orgânicos, qual seja: multiplicar, variar, deixar que vivam os mais fortes e morram os mais fracos.

Já mencionei a repulsa de Darwin, amplamente partilhada por seus contemporâneos, pelo hábito da fêmea da vespa icneumonídea de ferroar a vítima e paralisá-la, mas não matá-la, a fim de manter a carne fresca para suas larvas, que comem a presa viva por dentro. Darwin, como

você há de lembrar, não conseguiu convencer-se de que um criador benevolente conceberia um hábito como esse. Mas com a seleção natural no banco do motorista, tudo se torna claro, compreensível e sensato. A seleção natural não tem a menor preocupação com o conforto. Por que haveria de ter? Para que uma coisa ocorra na natureza, o único requisito é que a mesma ocorrência em tempos ancestrais tenha ajudado a sobrevivência dos genes que a promoveram. A sobrevivência dos genes é uma explicação suficiente para a crueldade das vespas e para a empedernida indiferença de toda a natureza — suficiente e satisfatória para o intelecto, mesmo que não para a compaixão humana.

Sim, há grandeza nessa visão da vida, e até uma espécie de grandeza na serena indiferença da natureza ao sofrimento que inexoravelmente segue na esteira de seu princípio condutor, a sobrevivência dos mais aptos. Os teólogos talvez estranhem esse eco de uma familiar manobra da teodiceia, que aponta o sofrimento como um inevitável correlato do livre-arbítrio. Já os biólogos de modo nenhum acham o termo "inexoravelmente" forte demais quando refle¬tem — talvez nas linhas da minha ponderação do capítulo anterior sobre a "bandeira vermelha"— sobre a função biológica da capacidade de sofrer. Se animais não estiverem sofrendo, alguém não está trabalhando duro o suficiente no departamento da sobrevivência gênica.

Os cientistas são humanos e têm, como todo mundo, o direito de deplorar a crueldade e

abominar o sofrimento. Mas bons cientistas como Darwin reconhecem que as verdades do mundo real, por mais desagradáveis que sejam, precisam ser encaradas. Além disso, se vamos admitir considerações subjetivas, existe fascinação na crua lógica que permeia toda a vida, inclusive quando vespas miram a série de gânglios nervosos do corpo de sua presa, quando os cucos expulsam seus irmãos de criação ("Assassino do acentor no galho que te gerou!), quando formigas fazem escravos e quando vemos a indiferença absoluta que todo parasita e todo predador têm pelo sofrimento. Darwin desdobrou-se quanto pôde para se consolar quando concluiu seu capítulo sobre a luta pela sobrevivência com as seguintes palavras:
Nada podemos fazer além de ter sempre em mente que cada ser orgânico está tentando crescer a uma razão geométrica; que cada um, em algum período da vida, durante alguma estação do ano, durante cada geração ou em intervalos, tem de lutar pela vida e sofrer grande destruição. Quando refletimos sobre essa luta, podemos consolar-nos com a plena confiança de que a guerra da natureza não é incessante, que nenhum medo é sentido, que a morte geralmente é imediata e que os vigorosos, os sadios e os felizes sobrevivem e se multiplicam.

Matar o mensageiro é um dos defeitos mais tolos da humanidade, e está na base de boa parcela da oposição à evolução que mencionei na introdução. "Ensine às crianças que elas são animais e elas se

comportarão como animais." Mesmo que fosse verdade que a evolução, ou o ensino da evolução, encoraja a imoralidade, isso não implicaria que a teoria da evolução é falsa. É assombroso que muitas pessoas não sejam capazes de entender esse simples raciocínio lógico. A falácia é tão comum que tem nome: argumentum ad consequentiam — x é verdadeiro (ou falso) por causa do quanto eu gosto (ou desgosto) de suas consequências.

"O MAIS EXCELSO OBJETO QUE SOMOS CAPAZES DE CONCEBER"

Será a "produção dos animais superiores" realmente "o mais excelso objeto que somos capazes de conceber"? Mais excelso? Mesmo? Não existem objetos mais excelsos? A arte? A espiritualidade? Romeu e Julieta? A Relatividade Geral? A Sinfonia Coral? A Capela Sistina? O Amor? Devemos lembrar que, apesar de toda a sua modéstia como pessoa, Darwin acalentava ambições elevadas. Segundo sua visão de mundo, tudo o que diz repeito à mente humana, todas as nossas emoções e pretensões espirituais, todas as artes e a matemática, a filosofia e a música, todos os feitos do intelecto e do espírito, são produtos do mesmo processo que gerou os animais superiores. Não ocorre apenas que, sem cérebros evoluídos, a espiritualidade e a música seriam impossíveis. Mais a propósito, os cérebros foram naturalmente selecionados para aumentar em capacidade e poder por razões utilitárias, até que essas

faculdades superiores do intelecto e do espírito emergiram como subprodutos e floresceram no ambiente cultural proporcionado pela vida em grupo e pela linguagem. A visão de mundo darwiniana não desmerece as faculdades humanas superiores, não as "reduz" a um plano de indignidade. Nem mesmo afirma explicá-las no tipo de nível que pareceria particularmente satisfatório, por exemplo, do mesmo modo que a explicação darwiniana da lagarta que imita cobra é satisfatória. Mas afirma, de fato, ter eliminado o impenetrável mistério — um mistério que nem mesmo valia a pena penetrar — que imperiosamente perseguiu todos os esforços pré-darwinianos para compreender a vida.

Mas Darwin não precisa da minha defesa, portanto passarei à questão de se a produção de animais superiores é o mais excelso objeto que podemos conceber ou meramente um objeto muito excelso. Que dizer, porém, do predicado? A produção dos animais superiores "surge diretamente" da guerra da natureza, da fome e da morte? Bem, sim. Ela surge diretamente se compreendermos o raciocínio de Darwin, mas ninguém o compreendia antes do século XIX. E muitos ainda não compreendem, ou talvez relutem em fazê-lo. Não é difícil ver por quê. Quando refletimos, nossa existência, juntamente com sua a capacidade pós-darwiniana de explicá-la, é candidata à categoria de fato mais assombroso que qualquer um de nós pode ser exortado a analisar em toda a sua vida. Logo tratarei disso.

"INSUFLADA QUE FOI ORIGINALMENTE"

Perdi a conta de quantas cartas iradas recebi de leitores de um livro anterior, ralhando comigo porque, pensam eles, omiti de propósito a vital frase "pelo Criador" depois de "insuflada que foi originalmente". Não estou arbitrariamente distorcendo a intenção de Darwin? Esses zelosos correspondentes esquecem que o grande livro de Darwin teve seis edições. Na primeira delas, a frase é como a reproduzi aqui. Presumivelmente curvando-se às pressões do lóbi religioso, Darwin inseriu "pelo Criador" na segunda edição e em todas as subsequentes. A menos que haja uma razão muito boa em contrário, quando cito A origem das espécies sempre é da primeira edição. Isso, em parte, deve-se ao fato de minha cópia dessa tiragem histórica de 1250 exemplares ser um de meus bens mais preciosos, presenteado por meu benfeitor e amigo Charles Simonyi. Mas também porque a primeira edição é, historicamente, a mais importante. É a que deu um soco no estômago vitoriano e dispersou um vento de séculos. Além disso, as edições posteriores, especialmente a sexta, cedeu não só à opinião pública. Na tentativa de responder a vários doutos mas equivocados críticos da primeira edição, Darwin recuou e até reverteu sua posição em várias questões importantes que havia conseguido solucionar. Portanto, é "insidiada que foi originalmente", sem menção a Criador algum.
Darwin parece ter se arrependido dessa tentativa de aplacar a opinião religiosa. Em carta escrita em

1863 a um amigo, o botânico Joseph Hooker, ele declarou: "Mas há tempos me arrependo de ter me intimidado com a opinião pública e usado o termo crição do Pentateuco, com o qual, na verdade, eu quis dizer 'apareceu' por algum processo totalmente desconhecido". O termo do Pentateuco a que Darwin se refere é "criação". Francis Darwin, em sua compilação das cartas do pai publicada em 1887, explica o contexto da frase. Darwin estava escrevendo para agradecer a Hooker o empréstimo da resenha de um livro de Carpenter, na qual o resenhista anônimo mencionara uma "força criativa [...] que Darwin só podia expressar em termos pentatêu-ticos como a forma primordial na qual a vida foi originalmente insuflada"'. Hoje poderíamos até dispensar o "originalmente insuflada". O que é que deveria ter sido insuflado no quê? Presumivelmente a referência pretendida foi a algum tipo de sopro da vida, mas o que isso poderia significar? Quanto mais atentamente examinamos a fronteira entre vida e não vida, mais nos escapa essa distinção. A vida, a vida animada, supõe-se, possui algum tipo de qualidade vibrante, pulsante, alguma essência vital, que soa ainda mais misteriosa quando expressa em francês: clan vital. A vida, parecia, era feita de alguma substância viva especial, uma poção mágica chamada de "proto-plasma". O professor Challenger de Conan Doyle, um personagem de ficção ainda mais absurdo do que Sherlock Holmes, descobriu que a Terra era viva, uma espécie de gigantesco ouriço-do-mar cuja couraça era a crosta que vemos, e cujo núcleo

consistia em protoplasma puro. Em meados do século xx, pensava-se que a vida estivesse qualitativamente fora da alçada da física e da química. Hoje não mais. A diferença entre vida e não vida é uma questão não de substância, mas de informação. Seres vivos contêm prodigiosas quantidades de informação. A maioria das informações é digitalmente codificada no DNA, e também há uma quantidade substancial codificada de outros modos, como logo veremos.

No caso do DNA, entendemos razoavelmente bem como o volume de informações acumula-se no decorrer do tempo geológico. Darwin chamou isso de seleção natural, e podemos definir com mais precisão: a sobrevivência não aleatória de informações que codificam receitas embriológicas para essa sobrevivência. Evidentemente, é esperável que receitas para a própria sobrevivência tenderão a sobreviver. O que o DNA tem de especial é o fato de sobreviver não em sua matéria propriamente dita, mas na forma de uma série indefinida de cópias. Como ocorrem erros ocasionais de cópia, novas variantes podem sobreviver ainda melhor do que suas predecessoras, e assim o banco de dados com as informações que codificam receitas para a sobrevivência melhora com o passar do tempo. Essas melhoras se manifestarão na forma de melhores corpos e outros recursos e expedientes para a preservação e propagação das informações codificadas. Em essência, a preservação e a propagação das informações do DNA normalmente significarão a sobrevivência e a reprodução dos

corpos que o contêm. Foi no plano dos corpos, de sua sobrevivência e reprodução, que Darwin trabalhou. As informações codificadas dentro deles estavam implícitas em sua visão de mundo, mas só no século XX viriam a ser explicitadas.

O banco de dados genético torna-se um depósito de informações sobre os ambientes do passado, ambientes nos quais os ancestrais sobreviveram e transmitiram os genes que os ajudaram a sobreviver. Uma vez que ambientes presentes e futuros assemelham-se aos do passado (e é comum isso ocorrer), esse "livro genético dos mortos" revela-se um útil manual para sobreviver no presente e no futuro. O repositório dessas informações residirá, em qualquer dado momento, em corpos individuais, porém no prazo mais longo, no qual a reprodução é sexuada e o DNA transmite-se embaralhado de corpo para corpo, o banco de dados de instruções de sobrevivência será o reservatório gênico de uma espécie.

O genoma de cada indivíduo, em qualquer dada geração, será uma amostra do banco de dados da espécie. Diferentes espécies terão bancos de dados diferentes em razão de seus diferentes mundos ancestrais. O banco de dados no reservatório gênico dos camelos codifica informações sobre desertos e como sobreviver neles. O DNA nos reservatórios gênicos das toupeiras contém instruções e dicas para sobreviver no solo escuro e úmido. O DNA em reservatórios gênicos de predadores conterá cada vez mais informações a respeito dos animais predados, seus truques de luga e como superá-los

em esperteza. O DNA nos reservatórios gênicos de presas passará a conter informações sobre predadores e como esquivar-se e escapar deles. O DNA em todos os reservatórios gênicos contém informações sobre parasitas e como resistir às suas perniciosas invasões.

As informações sobre como lidar com o presente de modo a sobreviver no futuro são necessariamente coligidas do passado. A sobrevivência não aleatória do DNA em corpos ancestrais é o modo óbvio como as informações do passado são registradas para uso futuro, e essa é a rota pela qual o banco de dados primário de DNA é formado. Mas há três outras maneiras pelas quais as informações sobre o passado são arquivadas de modo a poder ser usadas para melhorar as chances futuras de sobrevivência: o sistema imune, o sistema nervoso e a cultura. Juntamente com asas, pulmões e outros mecanismos de sobrevivência, cada um dos três sistemas secundários de coleta de informações foi, em última análise, prefigurado pelo primário: a seleção natural do DNA. Poderíamos chamá-los conjuntamente de as quatro "memórias".

A primeira memória é o repositório no DNA das técnicas ancestrais de sobrevivência, escritas na tela rolante que é o reservatório gênico da espécie. Assim como o banco de dados de DNA herdado registra os detalhes recorrentes de ambientes ancestrais e como sobreviver a eles, o sistema imune, a "segunda memória", faz o mesmo para doenças e outras agressões ao corpo durante a vida de um indivíduo. Esse banco de

dados de doenças passadas e modos de sobreviver a elas é único para cada indivíduo e é escrito no repertório de proteínas que chamamos de anticorpos — uma população de anticorpos para cada palógeno (organismo causador de doença), precisamente talhada pela "experiência" passada com as proteínas características do patógeno. Como muitas crianças da minha geração, tive sarampo e catapora. Meu corpo "lembra-se" da experiência, pois as memórias estão incorporadas em proteínas antígenas junto com o resto do meu banco de dados pessoal de invasores previamente derrotados. Felizmente nunca tive poliomielite, mas a ciênca médica engenhosamente desenvolveu a técnica da vacinação, inserindo memórias falsas de doenças nunca sofridas. Jamais contrairei pólio, pois meu corpo "pensa" que já tive a doença no passado, e meu banco de dados do sistema imune está equipado com os anticorpos apropriados, "enganado" que foi para produzi-los por uma injeção de uma versão inofensiva do vírus. É fascinante, como mostra o trabalho de vários cientistas laureados com prêmio Nobel, o fato de o banco de dados do sistema imune ser construído por um processo quase darwiniano de variação aleatória e seleção não aleatória. Mas neste caso a seleção não aleatória é uma seleção não de corpos por sua capacidade de sobreviver, e sim de proteínas dentro do corpo por sua capacidade de envolver ou de algum outro modo neutralizar proteínas invasoras.

A terceira memória é aquela em que normalmente

pensamos quando usamos a palavra: a que reside no sistema nervoso. Por mecanismos que ainda não compreendemos totalmente, nosso cérebro mantém um depósito de experiências passadas paralelo à "memória" dos anticorpos de doenças já sofridas e à "memória" (pois assim podemos considerá-la) de mortes e êxitos ancestrais contida no DNA. Em seu aspecto mais simples, a terceira memória funciona por um processo de tentativa e erro que pode ser visto como mais uma analogia da seleção natural. Quando procura alimento, um animal pode "tentar" várias ações. Embora não rigorosamente de modo aleatório, essa fase de tentativa é uma analogia razoável com a mutação genética. A analogia com a seleção natural é o "reforço", o sistema de recompensas (reforços positivos) e punições (reforços negativos). Uma ação como revirar folhas mortas (tentativa) acaba revelando larvas escondidas de besouro e cupim (recompensa). O sistema nervoso contém uma regra que diz: "qualquer ação experimental que seja seguida por recompensa deve ser repetida. Qualquer ação experimental que resulte em nada ou, pior, que seja seguida por uma punição, como a dor, não deve ser repetida".

Mas a memória do cérebro vai muito além desse processo quase darwiniano de sobrevivência não aleatória de ações recompensadas e eliminação de ações punidas no repertório do animal. A memória do cérebro (não é preciso aspas aqui, pois trata-se do significado primário da palavra) é, ao menos no caso do cérebro humano, vasta e vívida. Ela contém cenas detalhadas, representadas numa

simulação interna dos cinco sentidos. Contém listas de rostos, lugares, melodias, costumes sociais, regras, palavras. Você a conhece bem em seu íntimo, portanto não há necessidade de gastar minhas palavras para evocá-la, exceto para frisar o notável fato de que o léxico de palavras à minha disposição para escrever e o dicionário, idêntico ou pelo menos parcialmente coincidente, à sua disposição para ler residem no mesmo vasto banco de dados neuronal, juntamente com o equipamento sintático para dispor as palavras em frases e decifrá-las.

Além disso, a terceira memória, a do cérebro, gerou uma quarta. O banco de dados em meu cérebro contém mais do que apenas um registro dos acontecimentos e sensações da minha vida pessoal — embora esse fosse o limite na época em que os cérebros originalmente evoluíram. Seu cérebro inclui memórias coletivas herdadas por meios não genéticos de gerações passadas, transmitidas oralmente, por livros ou, hoje, pela internet. O mundo no qual você e eu vivemos é muito mais rico graças aos que vieram antes de nós e inscreveram seu impacto na cultura humana: Newton e Marconi, Shakespeare e Steinbeck, Bach e os Beatles, Stephenson e os irmãos Wright, Jenner e Salk, Curie e Einstein, Von Neumann e Berners-Lee. E, é claro, Darwin.

As quatro memórias são, todas, partes ou manifestações da vasta superestrutura do conjunto dos recursos de sobrevivência que foi original e primariamente construído pelo processo darwiniano de sobrevivência não aleatória do DNA.

"EM ALGUMAS FORMAS OU EM UMA"

Darwin fez bem em não apostar todas as suas fichas numa única possibilidade, mas hoje estamos razoavelmente convictos de que todos os seres vivos neste planeta descendem de um único ancestral. A evidência disso, como vimos no capítulo 10, é o fato de o código genético ser universal, quase idêntico em todos os animais, plantas, fungos, bactérias, arqueias e vírus. O dicionário de 64 palavras pelo qual palavras de três letras do DNA são traduzidas em vinte aminoácidos e um sinal de pontuação que indica "comece a ler aqui" ou "pare de ler aqui" é o mesmo dicionário de 64 palavras onde quer que examinemos nos reinos vivos (com uma ou duas exceções inexpressivas demais para prejudicar a generalização). Se, por exemplo, fossem descobertos micróbios esquisitos, anômalos chamados "aleocariotos", que não usassem DNA ou não usassem proteínas, ou que usassem proteínas encadeando-as umas às outras a partir de um conjunto de aminoácidos diferente dos conhecidos vinte, ou que usassem DNA mas não um código de três letras, ou um código de três letras mas não o mesmo dicionário de 64 palavras — se qualquer uma dessas condições fosse atendida, poderíamos aventar que a vida originou-se duas vezes: uma para os aleocariotos e outra para todo o resto dos seres vivos. Mas, pelo que Darwin soubesse, aliás, pelo que qualquer um soubesse antes da descoberta do DNA - algumas

criaturas existentes poderiam ter tido as propriedades que atribuí acima aos aleocariotos, e nesse caso sua menção a "em algumas formas" teria sido justificada.
É possível que duas origens independentes da vida acertassem com o mesmo código de 64 palavras? Muito improvável. Para que isso fosse plausível, o código existente teria de apresentar acentuadas vantagens sobre códigos alternativos, e teria de haver uma rampa gradual de melhoramentos em direção a ele, uma rampa para a seleção natural subir. Ambas as condições são improváveis. Francis Crick inicialmente afirmou que o código genético é um "acidente congelado" que, uma vez estabelecido, é difícil ou impossível de mudar. O raciocínio é interessante. Qualquer mutação no próprio código genético (em contraste com as mutações nos genes que ele codifica) teria um efeito instantaneamente catastrófico, não só em um lugar, mas em todo o organismo. Se qualquer palavra do dicionário de 64 palavras mudasse de significado e passasse a especificar um aminoácido diferente, praticamente todas as proteínas no corpo mudariam de pronto, provavelmente em muitos lugares. Ao contrário de uma mutação comum, que poderia, por exemplo, encompridar ligeiramente uma perna, encurtar uma asa ou escurecer um olho, uma mudança no código genético alteraria tudo de uma vez, no corpo todo, e isso causaria um desastre. Vários teóricos atinaram com sugestões engenhosas para modos especiais segundo os quais o código genético poderia evoluir: modos nos quais, citando

um dos artigos desses teóricos, o acidente congelado poderia ser "descongelado". Por mais interessantes que sejam, é praticamente certo que todo ser vivo cujo código genético já foi examinado descende de um ancestral comum. Por mais elaborados e diferentes que sejam os programas de nível superior que fundamentem as várias formas de vida, todos são, em essência, escritos na mesma linguagem de máquina.

Obviamente não podemos excluir a possibilidade de que outras linguagens de máquina tenham surgido em outras criaturas que hoje estão extintas — o equivalente dos meus aleocariotos. E o físico Paul Davies argumentou, com sensatez, que não investigamos verdadeiramente a fundo para saber se de fato não existem aleocariotos (é claro que ele não usou essa palavra) que não estejam extintos e ainda se escondam em algum reduto extremo do nosso planeta. Ele admite que isso não é muito provável, mas argumenta — lembrando um pouco o homem que procura as chaves perdidas debaixo de um poste de luz em vez de no lugar onde as perdeu que é muito mais fácil e mais barato vasculhar o planeta inteiro do que viajar para outros planetas e procurar por lá. Enquanto isso, deixo aqui registrado meu palpite pessoal de que o professor Davies não encontrará nada e que todas as formas de vida sobreviventes neste planeta usam o mesmo código de máquina e descendem todas de um único ancestral.

"ENQUANTO ESTE PLANETA PROSSEGUE EM

SEU GIRO DE CONFORMIDADE COM A IMUTÁVEL LEI DA GRAVIDADE"

Os humanos já tinham noção dos ciclos que governam nossa vida muito antes de os compreender. O ciclo mais óbvio é o do dia/noite. Objetos que vagueiam pelo espaço ou que orbitam outros objetos sob a lei da gravidade têm a tendência natural de girar em torno de seu próprio eixo. Há exceções, mas nosso planeta não é uma delas. Seu período de rotação é, hoje, de 24 horas (já girou mais rápido), e para nós, obviamente, isso é sentido como a sucessão dos dias e noites.
Porque vivemos em um corpo relativamente grande, pensamos na gravidade, sobretudo, como uma força que atrai tudo para o centro desse corpo, e sentimos isso como "para baixo". Mas a gravidade, como Newton foi o primeiro a compreender, tem um efeito ubíquo: mantém os corpos em todo o universo em órbita semipermanente em torno de outros corpos. Isso nós sentimos como o ciclo das estações do ano, que se sucedem à medida que nosso planeta orbita o Sol. Como o eixo no qual nosso planeta gira é inclinado em relação ao eixo de rotação em torno do Sol, temos dias mais longos e noites mais curtas durante a metade do ano em que o hemisfério no qual nos encontramos está inclinado em direção ao Sol, o período que culmina no verão. E temos dias mais curtos e noites mais longas durante a outra metade do ano, o período que, em seu extremo, chamamos de inverno. Durante o inverno no nosso hemisfério, os raios de

sol, quando chegam até nós, fazem-no a um ângulo mais aberto. Os oblíquos raios de sol invernal difundem-se mais esparsamente por uma área maior do que esses mesmo raios de sol cobririam no verão. Na parte que recebe o número menor de fótons por centímetro, a sensação é de mais frio. Menos fótons por folha verde significa menos fotossíntese. Dias mais curtos e noites mais longas têm o mesmo efeito. Verão e inverno, dia e noite, nossas vidas são governadas por ciclos, exatamente como Darwin afirmou, e o Gênesis antes dele: "Enquanto durar a terra não deixará de haver sementeira e ceifa, frio e calor, verão e inverno, dia e noite".

A gravidade medeia outros ciclos que também são importantes para a vida, embora sejam menos óbvios. Em contraste com outros planetas que possuem muitos satélites, em geral relativamente pequenos, a Terra tem um único satélite grande, que chamamos de Lua. Ele tem tamanho suficiente para exercer um significativo efeito gravitacional. Sentimos isso principalmente no ciclo das marés: não só o relativamente rápido ciclo da maré que sobe e desce diariamente, mas o ciclo mensal mais lento de marés de águas-vivas e marés de quadratura, causado pelas interações entre o efeito gravitacional do Sol e o da Lua em órbita mensal. Esses ciclos de maré são especialmente importantes para organismos marinhos e costeiros, e há quem muito implausivelmente avente que talvez algum tipo de memória de espécie de nossos ancestrais marinhos sobrevive em nossos ciclos reprodutivos

mensais. Essa pode ser uma idéia mirabolante, mas é intrigante especular como seria diferente a vida se não tivéssemos uma lua a orbitar nosso planeta. Já se sugeriu até, também implausivelmente na minha opinião, que sem a Lua a vida seria impossível.

E se o nosso planeta não girasse em seu eixo? Se ele mantivesse um lado permanentemente voltado para o Sol, como faz a Lua em relação à Terra, a metade com o dia permanente seria um inferno tórrido, enquanto a metade com noite permanente seria insuportavelmente gélida. Poderia a vida sobreviver na hinterlândia crepuscular entre os dois lados, ou talvez profundamente no subsolo? Duvido que ela se originasse em condições tão inóspitas, mas se a Terra gradualmente parasse de girar haveria tempo o suficiente para a adaptação, e não é implausível que pelo menos algumas bactérias conseguissem.

E se a Terra girasse, mas em um eixo não inclinado? Duvido que isso excluísse a possibilidade da vida. Não haveria ciclos de verão/inverno. As condições de verão e de inverno seriam uma função da latitude e da altitude, mas não do tempo. O inverno seria a estação permanentemente vivenciada pelos seres que vivessem próximos a um dos dois pólos ou no alto de montanhas. Não vejo por que isso poderia excluir a vida, ainda que viver sem as estações fosse menos interessante. Não haveria incentivo para migrar ou para reproduzir-se em determinado período do ano, para perder as folhas ou os pelos ou para hibernar.

Se o planeta não orbitasse uma estrela, a vida seria absolutamente impossível. A única alternativa a orbitar uma estrela é viajar em disparada pelo vácuo — na escuridão, a uma temperatura próxima do zero absoluto, sozinho e longe da fonte de energia que permite à vida fluir, temporária e localmente, "morro acima" contra a corrente termodinâmica. A frase de Darwin, "prossegue em seu giro de conformidade com a lei da gravidade" é mais do que mero expediente poético para expressar a incansável e inconcebivelmente extensa passagem do tempo.

Estar em órbita de uma estrela é o único modo de um corpo poder permanecer a uma distância relativamente fixa de uma fonte de energia. Nas vizinhanças de uma estrela — e o nosso Sol é uma estrela típica — há uma zona finita ban hada em calor e luz onde é possível a evolução da vida. A medida que aumenta a distância em relação a uma estrela no espaço, essa zona habitável reduz-se rapidamente, obedecendo à famosa lei do inverso do quadrado. Ou seja, a luz e o calor diminuem não em proporção direta à distância da estrela, mas em proporção ao quadrado da distância. É fácil ver por que tem de ser assim. Imagine esferas concêntricas de raios crescentes centrados em uma estrela. A energia que irradia da estrela incide no interior de uma esfera e é "partilhada" igualmente em cada centímetro quadrado da área interna da esfera. A área superficial de uma esfera é proporcional ao raio elevado ao quadrado, como todo aluno sabe. Assim, se a esfera A estiver ao dobro da distância

da estrela que a esfera B, o mesmo número de fótons terá de ser "partilhado" por uma área quatro vezes maior. É por isso que Mercúrio e Vênus, os planetas mais internos do nosso sistema solar, são quentíssimos, enquanto os mais externos, como Netuno e Urano, são frios e escuros, embora não tão frios e escuros como o espaço profundo.

A segunda lei da termodinâmica diz que, embora a energia não possa ser criada nem destruída, ela pode — e assim tem de ser, em um sistema fechado — tornar-se mais impotente para fazer trabalho útil: é isso que significa dizer que a "entropia" aumenta. "Trabalho" inclui coisas como bombear água morro acima ou, o equivalente químico, extrair carbono do dióxido de carbono na atmosfera e usá-lo em tecidos de plantas. Como já foi explicado no capítulo 12, essas duas proezas só podem ser realizadas com aporte de energia para o sistema, por exemplo, energia elétrica para mover a bomba-d'água ou energia solar para promover a síntese de açúcar e amido em uma planta verde. Assim que a água é bombeada para o alto de um morro, tenderá a correr para baixo, e parte da energia de sua queda pode ser usada para impelir uma roda hidráulica, a qual podo gerar eletricidade, que, por sua vez, pode mover um motor elétrico para bombear uma parte da água morro acima novamente — mas apenas uma parcela! Parte da energia sempre se perde, embora nunca seja destruída. Máquinas de moto-perpétuo (podemos repetir dogmaticamente) são impossíveis.

Na química da vida, o carbono extraído do ar por reações químicas "morro acima" (endergônicas) em plantas pode ser queimado para liberar parte da energia. Podemos literalmente queimá-lo em forma de carvão, o qual pode ser concebido como energia solar armazenada, que foi posta ali pelos painéis solares de plantas mortas há muito tempo, na era carbonífera e em outros períodos remotos. Ou a energia pode ser liberada de modo mais controlado do que a combustão propriamente dita. No interior de células vivas de plantas ou de animais que comem plantas (etc.), compostos de carbono feitos pelo sol sofrem uma "combustão lenta". Em vez de arder em chamas, liberam sua energia em um fluxo aproveitável, que atua de modo controlado para impelir reações químicas "morro acima". Inevitavelmente, parte dessa energia perde-se em forma de calor — se isso não ocorresse, teríamos uma máquina de moto-perpétuo, a qual (nunca é demais repetir) é impossível.

Quase toda a energia no universo está constantemente sendo degradada, de formas capazes para formas incapazes de realizar trabalho. Ocorre um nivelamento, uma mescla, até que, por fim, todo o universo se acomodará em uma uniforme, (literalmente) invariável "morte térmica". Mas enquanto o universo como um todo arroja-se morro abaixo em direção à sua inevitável morte térmica, há margem para que pequenas quantidades de energia movam sistemas locais na direção oposta. Água do mar é erguida para o ar em forma de nuvens, as quais posteriormente

depositam sua água nos topos montanhosos, de onde ela tone encostas abaixo por riachos e rios, os quais podem mover rodas hidráulicas ou usinas hidrelétricas. A energia para fazer a água subir (e, portanto, impelir as turbinas da usina) provém do sol. Isso não viola a Segunda Lei, pois há constante aporte de energia do sol. A energia solar faz coisa semelhante nas folhas verdes, impelindo localmente reações químicas "morro acima" para a produção de açúcar, amido, celulose e tecidos vegetais. Por fim as plantas morrem, ou antes disso podem ser comidas por animais. A energia solar armazenada tem a oportunidade de fluir lentamente através de numerosas cascatas e, por uma longa e complexa cadeia alimentar, culminar na decomposição por bactérias e fungos das plantas ou dos animais que prolongam a cadeia alimentar. Ou, ainda, parte dela pode ser sequestrada para o subsolo, primeiro em forma de turfa e depois de carvão. Mas a tendência universal à morte final nunca se reverte. Em cada elo da cadeia alimentar, e através de cada cascata que flui "morro abaixo" no interior de cada célula viva, parte da energia degrada-se até deixar de ser útil. Máquinas de moto-perpétuo são... Está bem, já basta de repetições, mas não me desculparei por citar, como já fiz em pelo menos um dos meus livros anteriores, o magnífico dito de sir Arthur bddington sobre essa questão:

Se alguém vier lhe dizer que a sua tão prezada teoria do universo não está de acordo com as equações de Maxwell, danem-se as equações de

Maxwell. Se lhe demonstrarem que ela é desmentida pela observação, ora, esses experimentalistas às vezes fazem trabalho malfeito mesmo. Mas se for constatado que a sua teoria não condiz com a segunda lei da termodinâmica, não posso dar-lhe nenhuma esperança; nada lhe resta além de sucumbir na mais profunda humilhação.

Quando os criacionistâs afirmam, como frequentemente fazem, que a teoria da evolução contradiz a segunda lei da termodinâmica, estão dizendo unicamente que não entendem a Segunda Lei (que eles não entendem a evolução já sabíamos). Não há contradição, por causa do sol! Todo o sistema, quer estejamos falando sobre a vida, quer sobre a água que sobe até as nuvens e torna a cair, é em última análise dependente do constante fluxo de energia proveniente do sol. Embora sem jamais desobedecer às leis da física e da química — e certamente nunca desobedecendo à Segunda Lei —, a energia do sol impele a vida, de modo que, por uma laboriosa rota limitada por essas leis, evoluem prodigiosos leitos de complexidade, diversidade, beleza e uma impressionante ilusão de improbabilidade estatística e design deliberado. Tão poderosa é essa ilusão que enganou nossas mais ilustres mentes por séculos, até Charles Darwin irromper em cena. A seleção natural é uma bomba de improbabilidade: um processo que gera o estatisticamente improvável. Ela aproveita sistematicamente a minoria de mudanças

aleatórias que têm o que é preciso para a sobrevivência e as acumula, passinho por passinho no decorrer de escalas de tempo inimagináveis, até que a evolução finalmente escale montanhas de improbabilidade e diversidade, picos cuja altura e alcance parecem não conhecer limites: a montanha metafórica que batizei como "monte Improvável". A bomba de improbabilidade da seleção natural, que impele a complexidade da vida na escalada do "monte Improvável", é um tipo de equivalente estatístico da elevação da água pela energia do sol ao topo de uma montanha convencional. A vida ganha complexidade pela evolução unicamente porque a seleção natural impele-a, localmente, a afastar-se do estatisticamente provável em direção ao estatisticamente improvável. E isso só é possível graças ao incessante fornecimento de energia do sol.

"DE UM COMEÇO TÃO SIMPLES"

Sabemos muito a respeito de como a evolução atuou desde que ela teve início, muito mais do que Darwin sabia. Mas no que diz respeito a como ela começou, pouco sabemos mais do que Darwin. Este é um livro sobre evidências, e não temos evidências do crucial evento que foi o princípio da evolução em nosso planeta. Pode ter sido um evento de suprema raridade. Basta que tenha acontecido uma só vez, e pelo que sabemos ele só aconteceu uma vez. É até possível que só tenha acontecido uma vez no universo inteiro, embora

eu duvide. Uma coisa que podemos afirmar, com base em pura lógica e não em evidências, é que Darwin foi sábio quando disse "de um começo tão simples". O oposto de simples é estatisticamente improvável. Coisas estatisticamente improváveis não surgem de modo espontâneo: é isso que significa estatisticamente improvável. O começo teve de ser simples, e a evolução pela seleção natural é o único processo que conhecemos pelo qual começos simples podem levar a resultados complexos.

Darwin não investigou como a evolução começou em A origem das espécies. Julgava que esse problema estava fora do alcance da ciência de seu tempo. Na carta a Hooker que citei antes, Darwin prosseguiu dizendo: "é mera tolice pensar, atualmente, sobre a origem da vida; tanto faria se pensássemos sobre a origem da matéria". Ele não excluiu a possibilidade de que o problema um dia viesse a ser resolvido (de fato, o problema da origem da matéria foi, em grande medida, solucionado), porém num futuro distante: "Demorará algum tempo antes que vejamos 'lodo, protoplasma etc.' gerar um novo animal".

A essa altura em sua edição das cartas paternas, Francis Darwin inseriu uma nota de rodapé informando:

Sobre esse mesmo assunto meu pai escreveu em 1871: "Muitos dizem que estão presentes hoje todas as condições para a primeira produção de um organismo vivo que sempre puderam estar

presentes. Mas se (e oh, que grande se!) pudéssemos conceber que em alguma lagoa tépida, com a presença de todo tipo de sais de amónia e fósforo, luz, calor, eletricidade etc., ocorresse quimicamente a formação de um composto de proteínas pronto para sofrer mudanças ainda mais complexas, em nosso tempo essa matéria seria instantaneamente devorada ou absorvida, o que não teria ocorrido antes da formação de seres vivos".

Aqui Charles Darwin estava fazendo duas coisas bem distintas. Por um lado, apresentava sua única conjectura sobre como a vida poderia ter se originado (a célebre passagem da "lagoa tépida"). Por outro, estava desenganando a ciência contemporânea da esperança de um dia ver o evento replicado diante dos nossos olhos. Mesmo se "as condições para a primeira produção de um organismo vivo" ainda estiverem presentes, qualquer produção desse tipo seria "instantaneamente devorada ou absorvida" (presumivelmente por bactérias, teríamos hoje boas razões para acrescentar), "o que não teria ocorrido antes da formação de seres vivos".
Darwin escreveu isso sete anos antes de Louis Pasteur dizer, em uma conferência na Sorbonne: "A doutrina da geração espontânea nunca se recobrará do golpe mortal desferido por este experimento simples". O experimento simples foi aquele no qual Pasteur demonstrou que, ao contrário do que o vulgo supunha na época, um caldo protegido contra a presença de micro-

organismos não se deteriorava.
Demonstrações como a de Pasteur são às vezes citadas por criación istas como evidência em favor de sua posição. O falso silogismo é: "A geração espontânea nunca é observada atualmente. Portanto, a origem da vida é impossível". O comentário de Darwin em 1871 destinou-se justamente a ser uma réplica a esse tipo de ilogicidade. Evidentemente a geração espontânea de vida é um evento raríssimo, mas tem de ter ocorrido uma vez, e isso é verdade independentemente de se pensar que a geração espontânea original foi um evento natural ou sobrenatural. A questão de quão raro foi o evento da origem da vida é interessante, e retornarei a ela.
As primeiras tentativas substanciais de ponderar sobre como a vida poderia ter se originado, a de Oparin na Rússia e (independentemente) a de Haldane na Inglaterra começaram, ambas, negando que as condições para a primeira produção de vida ainda existem em nossos dias. Oparin e Haldane aventaram que a atmosfera primeva teria sido muito diferente da atual. Em especial não teria havido oxigênio livre, portanto a atmosfera teria sido, como os químicos misteriosamente a chamam, "redutora". Hoje sabemos que todo o oxigênio livre na atmosfera é produto da vida, especificamente das plantas, é claro, e não parte das condições prévias nas quais a vida surgiu. O oxigênio afluiu para a amosfera como um poluente, e até um veneno, até que a seleção natural moldou seres vivos para

prosperarem com essa substância e até sufocar sem ela. A atmosfera "redutora" inspirou a mais célebre iniciativa experimental para resolver o problema da origem da vida, quando Stanley Miller encheu um frasco com ingredientes simples que borbulharam e faiscaram por apenas uma semana antes de produzir aminoácidos e outros arautos da vida.

Hoje muitos rejeitam a "lagoa tépida" de Darwin, juntamente com a poção de bruxa preparada por Miller que ela inspirou, como preâmbulo para a apresentação de alguma alternativa preferida. A verdade é que não há nenhuma concordância avassaladora. Várias idéias promissoras foram aventadas, mas não há evidências decisivas que apontem inequivocamente para qualquer uma delas. Em livros anteriores examinei várias possibilidades interessantes, entre elas a teoria de Graham Cairns-Smith sobre os cristais de argila inorgânicos e a teoria mais recentemente em voga de que as condições nas quais a vida surgiu foram semelhantes ao habitat hadeano das atuais bactérias e arqueias "termófilas", algumas das quais se reproduzem e florescem em fontes termais que efetivamente fervem. Atualmente a maioria dos biólogos inclina-se para a "teoria do mundo de RNA", e por uma razão que considero muito persuasiva.

Não temos evidências de qual foi o primeiro passo na produção de vida, mas sabemos que tipo de passo deve ter sido. Deve ter sido o que quer que fosse preciso para dar início à seleção natural. Antes desse primeiro passo, os tipos de melhora

que só a seleção natural pode gerar eram impossíveis. E isso significa que o passo crucial foi o surgimento, por algum processo ainda desconhecido, de uma entidade autorreplicante. A autorreplicação gera uma população de entidades que competem entre si para ser replicadas. Como nenhum processo de cópia é perfeito, a população inevitavelmente acabará contendo variedade, e se existem variantes numa população de replicadores, os que tiverem o que é preciso para ser bem-sucedidos inevitavelmente virão a predominar. Isso é seleção natural, e não poderia ter começado antes que surgisse a primeira entidade autorreplicante.

Em seu parágrafo sobre a "lagoa tépida" Darwin aventou que o evento crucial na origem da vida poderia ter sido o surgimento espontâneo de uma proteína, mas essa ideia revela-se menos promissora do que a maioria das suas concepções. Não estou, com isso, negando que as proteínas tenham importância crucial para a vida. Vimos no capítulo 8 que elas têm a especial propriedade de enovelar-se formando objetos tridimensionais cuja forma exata é especificada pela sequência unidimensional de seus componentes, os aminoácidos. Vimos também que essa mesma forma exata confere-lhes a capacidade de catalisar reações químicas com grande especificidade, multiplicando talvez por 1 trilhão a velocidade de determinadas reações. A especificidade das enzimas possibilita a química biológica, e as proteínas parecem ser quase indefinidamente flexíveis no conjunto de formas que podem

assumir. Esse, portanto, é o grande predicado das proteínas. Elas são muito, muito competentes nessa tareia, e Darwin estava certíssimo ao mencioná-las. Mas há algo em que as proteínas são uma negação, e isso Darwin não levou em conta: a autorreplicação. Elas não são capazes de fazer cópias de si mesmas. Isso significa que o passo essencial na origem da vida não pode ter sido o surgimento espontâneo de uma proteína. Mas então qual foi esse primeiro passo?

A molécula que melhor se replica, pelo que sabemos, é o DNA. Nas formas de vida avançadas que nos são familiares, DNA e proteínas são elegantemente complementares. Moléculas de proteína são enzimas brilhantes, mas não prestam como replicadores. O DNA é exatamente o contrário. Ele não se enovela em formas tridimensionais, portanto não funciona como as enzimas. Em vez de enovelar-se, ele conserva sua forma aberta, linear, e é isso que o torna ideal como replicador e como especificador de sequências de aminoácidos. Moléculas de proteína, precisamente por se enovelarem em formas "fechadas", não "expõem" suas informações sequenciais de um modo que possa ser copiado ou "lido". As informações sequenciais ficam inacessivelmente embutidas na proteína enovelada. Mas na longa cadeia do DNA as informações sequenciais ficam expostas e disponíveis para funcionar como gabarito.

Eis o "impasse" da origem da vida. O DNA pode replicar-se, mas precisa de enzimas para catalisar o processo. Proteínas podem catalisar a formação

de DNA, mas precisam de DNA para especificar a sequência correta de aminoácidos. Como as moléculas da Terra primeva poderiam escapar desse beco sem saída e ensejar o início da seleção natural? Entra em cena o RNA.

O RNA pertence à mesma família das moléculas em cadeia do DNA, OS polinucleotídeos. Ele é capaz de conter o equivalente às mesmas quatro "letras" codificadoras presentes no DNA, e de fato o faz nas células vivas, transportando informações genéticas de DNA para onde elas possam ser usadas. O DNA atua como um gabarito para a formação de sequências codificadas de RNA. Em seguida sequências de proteínas formam-se usando como gabarito o RNA, e não o DNA. Alguns vírus não possuem DNA. O RNA é sua molécula genética, a única responsável pela transmissão de informações genéticas de geração a geração.

Agora vamos ao ponto fundamental da teoria da origem da vida em um "mundo de RNA". Além de estender-se numa forma adequada para transmitir informações sequenciais, o RNA também tem capacidade de se automontar, como nosso colar magnético do capítulo 8, em formas tridimensionais com atividade enzimática. Existem enzimas de RNA. Elas não são tão eficientes quanto enzimas de proteína, mas trabalham. A teoria do mundo de RNA aventa que o RNA foi uma enzima boa o suficiente para dar conta do recado até evoluírem proteínas que assumiram o papel de enzima, e que o RNA foi um replicador bom o bastante para exercer sofrivelmente o papel de replicador até evoluir o DNA.

Na minha opinião, a teoria do mundo de RNA é plausível, e provavelmente, dentro de algumas décadas, químicos simularão em laboratório a reconstrução integral dos eventos que, 4 bilhões de anos atrás, lançaram a seleção natural em sua decisiva trajetória. Já foram dados fascinantes passos na direção certa.

Antes de deixar este assunto, porém, devo reiterar um alerta que dei em livros anteriores. Na verdade, não precisamos de uma teoria plausível sobre a origem da vida, e inclusive talvez até ficássemos um pouco preocupados se uma teoria plausível demais fosse descoberta! Esse óbvio paradoxo decorre de uma famosa pergunta feita pelo físico Enrico Fermi: "Onde está todo mundo?". Por mais enigmática que soe a questão, os colegas de Fermi, físicos do Laboratório de Los Alamos, estavam sintonizados com ele o bastante para saber exatamente o que ele queria dizer: por que não recebemos visitas de seres de outras partes do universo? Se não vêm em pessoa, ao menos que nos visitem por sinais de rádio (o que é imensamente mais provável).

Hoje é possível estimar que existem mais de 1 bilhão de planetas em nossa galáxia, e cerca de 1 bilhão de galáxias. Isso significa que, embora seja possível que o nosso planeta seja o único dotado de vida na galáxia, para que isso seja verdade a probabilidade de surgir vida em um planeta não seria muito maior do que um em 1 bilhão. Por isso, a teoria que procuramos, uma teoria que explique a origem da vida neste planeta, não seria de modo algum uma teoria plausível] Se fosse, a existência

de vida seria comum na galáxia. Talvez seja comum, e nesse caso é uma teoria plausível que desejamos. Mas não temos evidências de que existe vida fora deste planeta, portanto, no mínimo temos o direito de nos satisfazer com uma teoria implausível. Se levarmos a sério a questão de Fermi e interpretarmos a ausência de visitas como evidência de que a vida é extremamente rara na galáxia, devemos pender para uma suposição decidida de que não existe nenhuma teoria plausível sobre a origem da vida. Expus esse argumento com mais abrangência em O relojoeiro cego, e não me estenderei mais aqui. Meu palpite, valha o que valer (e não é grande coisa, pois há muitas incógnitas), é que a vida é muito rara, mas que o número de planetas é tão grande (além disso, continuamente vêm sendo descobertos novos planetas) que provavelmente não estamos sozinhos, e pode haver milhões de ilhas de vida no universo. No entanto, milhões de ilhas ainda assim podem estar tão distantes umas das outras que quase não têm chance de encontrar-se, mesmo por rádio. Infelizmente, no que diz respeito aos aspectos práticos, é o mesmo que estarmos sozinhos.

"EVOLUÍRAM E CONTINUAM A EVOLUIR INFINDÁVEIS FORMAS BELÍSSIMAS E FASCINANTES"

Não sei muito bem o que Darwin quis dizer com "infindáveis". Talvez seja apenas um superlativo, empregado para turbinar os adjetivos "belíssimas"

e "fascinantes", julgo que, em parte, foi isso mesmo. Mas agrada-me pensar que Darwin quis dizer algo mais específico com "infindáveis". Analisando a história da vida, vemos um quadro de inovações incessantes, sempre rejuvenescedoras. Indivíduos morrem; espécies, famílias, ordens e até classes extinguem-se. Mas o processo evolucionário em si parece recobrar-se e retomar seu recorrente florescimento, com intacto frescor, com inabalável viço, época após época.

Retornemos brevemente aos modelos computadorizados de seleção artificial que descrevi no capítulo 2: o "parque safari" de biomorfos criados por computador, incluindo os artromorfos e os conchomorfos que mostram como pode ter evoluído a grande variedade de conchas de moluscos. Naquele capítulo introduzi essas criaturas computadorizadas para ilustrar como funciona a seleção artificial e como ela é poderosa se tivermos gerações suficientes. Agora quero usar esses modelos de computador para outro propósito.

Minha forte impressão quando fitava a tela do computador e promovia a reprodução de biomorfos, fosse em cores, fosse em preto e branco, e também quando gerava artromorfos, era que isso nunca se tornaria maçante. A impressão era de uma infindável novidade. O programa nunca parecia "cansar-se", e o jogador também não. Isso contrastava com o programa "de D Arcy" que descrevi brevemente no capítulo 10, aquele no qual os "genes" são matematicamente repuxados nas coordenadas de uma folha de

borracha virtual na qual foi desenhado um animal. Quando faz seleção artificial com o programa de D'Arcy, o jogador parece, com o passar do tempo, afastar-se cada vez mais de um ponto de referência no qual as coisas fazem sentido, e enveredar por uma terra desconhecida de deselegância disforme onde o sentido parece diminuir quanto mais nos afastamos do ponto de partida. Já insinuei a razão disso. Nos programas de biomorfos, artromorfos e conchomorfos, temos o equivalente computadorizado de um processo embriológico — três diferentes processos embriológicos, cada qual biologicamente plausível a seu modo. Em contraste, o programa de D'Arcy não simula a embriologia. Em vez disso, como expliquei no capítulo 10, ele manipula as distorções pelas quais uma forma adulta pode ser transformada em outra forma adulta. Essa inexistência de uma embriologia priva-o da "fertilidade inventiva" exibida pelos biomorfos, artromorfos e conchomorfos. E a mesma fertilidade inventiva é vista em embriologias na vida real, sendo essa a mínima razão pela qual a evolução gera "infindáveis formas belíssimas e fascinantes". Mas podemos ir além do mínimo?

Em 1989 escrevi um artigo intitulado "A evolução da evolvabilidade" no qual argumentei que não só os animais tornam-se mais hábeis em sobreviver com o passar das gerações, mas também as linhagens de animais tornam-se mais hábeis em evoluir. O que significa "ser bom em evoluir"? Que tipos de animais são bons em evoluir? Insetos em terra e crustáceos no mar parecem ser os

campeões na arte de diversificar-se em milhares de espécies, dividir os nichos, mudar de costumes com a maior desenvoltura no decorrer do tempo evolucionário. Os peixes também demonstram assombrosa fecundidade evolucionária, assim como as rãs e os mais familiares mamíferos e aves.

O que sugeri em meu artigo de 1989 é que a evolvabilidade é uma propriedade das embriologias. Genes mutam e modificam o corpo de um animal, mas têm de atuar mediante processos de crescimento embriônico. E algumas embriologias são melhores do que outras em produzir férteis conjuntos de variações genéticas dos quais a seleção natural pode servir-se, e graças a isso elas poderiam ser melhores na arte de evoluir. "Poderiam ser" parece fraco demais. Não é quase óbvio que, nesse sentido, algumas embriologias têm de ser melhor do que outras em evoluir? A meu ver, sim. É menos óbvio, mas ainda assim creio que deve ser mencionado, que pode haver um tipo de seleção natural de nível superior em favor de "embriologias evoluíveis". Ao longo do tempo, embriologias melhoram sua evolvabilidade. Se existir uma "seleção de nível superior" desse tipo, ela será muito diferente da seleção natural comum, que escolhe os indivíduos por seu êxito em transmitir genes (ou, o que é equivalente, escolhe os genes por sua capacidade de construir indivíduos bem-sucedidos). A seleção de nível superior que melhora a evolvabilidade seria do tipo que o grande biólogo evolucionário americano George C. Williams chamou de "seleção de clado".

Clado é um ramo da árvore da vida, como uma espécie, um gênero, uma ordem ou uma classe. Poderíamos dizer que ocorreu seleção de clado quando um clado, como o dos insetos, difundiu-se, diversificou-se e povoou o mundo com mais êxito do que outro clado, como o dos pogonóforos (não, você provavelmente nunca ouviu falar dessas obscuras criaturas parecidas com vermes, e há uma razão para isso: eles formam um clado mal-sucedido!). A seleção de clado não implica que os clados têm de competir entre si. Os insetos não competem, ou pelo menos não diretamente, com os pogonóforos por alimento, espaço ou qualquer outro recurso. Mas o mundo está abarrotado de insetos e quase desprovido de pogonóforos, e somos justificadamente tentados a atribuir o sucesso dos insetos a alguma característica que eles possuam. Imagino que possa ser algo em sua embriologia que os torna "evoluíveis". No capítulo de A escalada do monte Improvável intitulado "Embriões caleidoscópicos" apresentei várias hipóteses de características específicas que favoreceriam a evolvabilidade, entre elas restrições de assimetria e as arquiteturas modulares como o plano corporal segmentado.

Talvez em parte graças a essa arquitetura modular segmentada o clado dos artrópodes seja bom em evoluir, produzir variação em várias direções, diversificar-se, ocupar oportunisticamente nichos que se tornem disponíveis. Outros clados também podem ser bem-sucedidos porque suas embriologias são obrigadas a desenvolver-se em vários planos com uma correspondência invertida,

como a de imagens no espelho. Os clados que vemos povoando terras e mares são aqueles que são bons em evoluir. Na seleção de ciados, os mal-sucedidos extinguem-se ou não se diversificam de modo a enfrentar os diversos desafios: definham e perecem. Clados bem-sucedidos brotam e prosperam como folhas na árvore filogenética. "Seleção de clado" soa sedutoramente como seleção natural darwiniana. Devemos resistir a essa sedução, ou pelo menos tocar um alarme. Semelhanças superficiais podem ser ativamente desnorteantes.

O fato de existirmos é tão impressionante que quase não dá para acreditar. E o mesmo podemos dizer do fato de estarmos cercados por um rico ecossistema de animais que se assemelham mais ou menos a nós, por plantas um pouco menos semelhantes das quais, em última análise, depende o nosso sustento, e por bactérias similares aos nossos ancestrais mais remotos às quais retornaremos decompostos quando nosso tempo passar. Darwin estava muito à frente do seu tempo na percepção da magnitude do problema da nossa existência e no caminho para sua solução. Também estava à frente de seu tempo na avaliação das dependências mútuas dos animais, plantas e todos os outros seres, em relações cuja complexidade dá vertigens à imaginação. Como é que nos vemos não meramente existindo, mas cercados por tanta complexidade, tanta elegância, tão infindáveis formas belíssimas e fascinantes?

A resposta é que não poderia ter sido de outro modo, dado que somos capazes de notar nossa

existência e de formular perguntas sobre ela. Não é por acidente, como salientam os cosmólogos, que vemos estrelas em nosso céu. Podem existir universos sem estrelas, universos cujas leis e constantes físicas deixam o hidrogênio primordial uniformemente distribuído e não concentrado dentro de estrelas. Mas ninguém está observando esses universos, pois entidades capazes de observar qualquer coisa não podem evoluir sem estrelas. Não só a vida precisa de pelo menos uma estrela para fornecer energia, mas além disso as estrelas são as fornalhas onde se forja i maioria dos elementos químicos, e não se pode ter vida sem uma química rica. Poderíamos arrolar as leis da física uma a uma e dizer a mesma coisa a respeito de todas elas: não é por acidente que vemos...

O mesmo vale para a biologia. Não é por acidente que vemos verde por quase toda parte. Não é por acidente que nos achamos empoleirados num minúsculo ramo no meio de uma frondosa e florescente árvore da vida; não é por acidente que estamos cercados por milhões de outras espécies que comem, crescem, decompõem-se, nadam, andam, voam, cavam, espreitam, perseguem, fogem, suplantam em velocidade ou em esperteza. Sem plantas verdes que nos superem numericamente no mínimo dez vezes, não haveria energia para nos mover. Sem as corridas armamentistas em eterna escalada entre predadores e presas, parasitas e hospedeiros, sem a "guerra da natureza" de Darwin, sem sua "fome e morte", não existiriam sistemas nervosos

capazes de ver e muito menos de apreciar e compreender. Estamos cercados por infindáveis formas belíssimas e fascinantes, e não é por acidente, e sim uma consequência direta da evolução pela seleção natural nao aleatória única na vida, o maior espetáculo da Terra.

Apêndice
Os negadores da história

A intervalos irregulares mas não muito espaçados, desde 1982, o Gallup, o mais conhecido instituto de pesquisa de opinião dos Estados Unidos, fez uma amostragem da posição dos americanos sobre a seguinte questão:

Qual das afirmações a seguir mais se aproxima da sua idéia sobre a origem e o desenvolvimento dos seres humanos?

1. Os seres humanos desenvolveram-se ao longo de milhões de anos a partir de formas de vida menos avançadas, mas Deus conduziu esse processo. (36%)
2. Os seres humanos desenvolveram-se ao longo de milhões de anos a partir de formas de vida menos avançadas, mas Deus não teve papel nesse processo. (14%)
3. Deus criou os seres humanos praticamente na forma presente, em algum momento nos últimos 10 mil anos aproximadamente. (44%)

As porcentagens que inseri são as de 2008. As de

1982, 1993, 1997, 1999, 2001, 2004, 2006 e 2007 são muito semelhantes.

Eu me encontro no grupo que, sem surpresa, vejo ser uma minoria de 14% que assinala a alternativa 2. É lamentável que os dizeres da proposição 2, "mas Deus não teve papel nesse processo", pareçam ter sido calculados para, gratuitamente, predispor pessoas religiosas contra ela. Mas a verdadeira tragédia é o lamentavelmente forte apoio à proposição 3. Quarenta e quatro por cento dos americanos negam totalmente a evolução, conduzida ou não por Deus, e a implicação é que eles acreditam que o mundo não tenha mais de 10 mil anos de existência. Como já ressaltei, dado que a verdadeira idade do mundo é 4,6 bilhões de anos, isso equivale a acreditar que a largura da América do Norte é inferior a dez metros. Em nenhum dos nove anos em que foram feitas essas amostragens o apoio à proposição 3 foi inferior a 40%. Em dois dos anos pesquisados, ela chegou a 47%. Mais de 40% dos americanos negam que os humanos evoluíram de outros animais, e pensam que nós — e por implicação todos os seres vivos — fomos criados por Deus nos últimos 10 mil anos. Este livro é necessário.

As questões apresentadas pelo Gallup concentraram-se nos seres humanos, o que, poderíamos dizer, talvez tenha pesado na balança emocional e dificultado a aceitação da visão científica. Em 2008 a organização americana Pew Forum on Religion & Public Life publicou os resultados de um levantamento semelhante entre os americanos, porém sem mencionar

especificamente os humanos na pergunta. Os resultados foram totalmente compatíveis com os do Gallup. As proposições apresentadas foram as descritas a seguir, com suas respectivas porcentagens:

A vida na Terra...
Existe na forma presente desde o princípio dos tempos 42%
Evoluiu ao longo do tempo 48%
Evoluiu por seleção natural 26%
Evoluiu guiada por um ser supremo 18%
Evoluiu, mas não sei como 4%
Não sei 10%

As questões da pesquisa do Pew Forum não mencionam datas, por isso nao sabemos quantos dos 42% que rejeitam categoricamente a evolução também pensam que o mundo tem menos de 10 mil anos de idade, como presumivelmente acreditam 44% dos entrevistados pelo Gallup. Parece provável que também os 42% do Pew Forum concordariam com os milhares de anos em vez dos 4,6 bilhões indicados pela ciência. Acreditar que a vida na Terra existe na forma presente, sem mudanças, há 4,6 bilhões de anos parece no mínimo tão absurdo quanto crer que ela existiu na forma presente por alguns milhares de anos, e certamente não é bíblico.
E a Grã-Bretanha, como se compara? Em 2006 a série Horizon, da BBC, que apresenta documentários de (relativamente) alta qualidade sobre ciência, encomendou ao instituto Ipsos MORI

uma pesquisa sobre o público britânico. Infelizmente, a questão principal não foi bem formulada. Pediu-se aos entrevistados que escolhessem uma destas três "teorias ou explicações sobre a origem e desenvolvimento da vida na Terra". A porcentagem dos que escolheram cada opção está indicada em seguida à proposição.

a) A "teoria evolucionária" diz que os seres humanos desenvolveram-se ao longo de milhões de anos a partir de formas de vida menos avançadas. Deus não teve papel nesse processo. (48%)
b) A "teoria do criacionismo" diz que Deus criou os seres humanos praticamente na forma presente em algum momento nos últimos 10 mil anos. (22%)
c) A teoria do "design inteligente" diz que certas características dos seres vivos são mais bem explicadas pela intervenção de um ser sobrenatural, ou seja, Deus. (17%)
d) Não sei. (12%)
Lamentavelmente, essas escolhas podem ter deixado algumas pessoas sem sua opção preferida. Não dão margem em (a) para "mas Deus teve papel nesse processo". Devido à inclusão da frase "Deus não teve papel nesse processo", não surpreende que a porcentagem para (a) seja de meros 48%. No entanto, a porcentagem para (b), 22%, é alarmantemente alta, sobretudo considerando o absurdo limite de idade de 10 mil anos. E se somarmos (b) e (c) para

chegar à porcentagem dos que aceitam alguma forma de criacionismo, teremos 39%. Ainda não é uma parcela tão grande quanto os mais de 40% nos Estados Unidos, especialmente levando-se em conta que a porcentagem americana refere-se a criacionistas que crêem em uma Terra jovem, enquanto os 30% britânicos presumivelmente incluem em (c) os criacionistas que acreditam em uma Terra velha.

Na pesquisa do instituto MORI foi feita mais uma pergunta para a amostra britânica, agora sobre educação. Considerando as três teorias acima, perguntou-se aos entrevistados se elas deveriam ou não ser ensinadas nas aulas de ciência. Preocupantemente, apenas 69% afirmaram sem hesitar que a evolução deveria ser ensinada nas aulas de ciência, fosse ou não junto com alguma forma de teoria da criação ou design inteligente.

Uma pesquisa mais ambiciosa feita na Grã-Bretanha mas não nos Estados Unidos foi realizada em 2005 pelo Eurobarometer, o instituto de pesquisa de opinião da União Europeia. Fez-se um levantamento por amostragem das opiniões e crenças sobre questões científicas em 32 países europeus (inclusive a Turquia, o único país substancialmente islâmico que aspira a ingressar na União Européia). A Tabela 1 mostra as porcentagens, para vários países, dos que concordam com a proposição "Os seres humanos, como hoje os conhecemos, desenvolveram-se a partir de espécies de animais mais antigas". Repare que essa é uma afirmação mais modesta do que a da alternativa (a) da pesquisa do instituto

MORI, pois não exclui a possibilidade de que Deus tenha tido algum papel no processo evolucionário. Ordenei os países segundo a porcentagem dos que concordam com a proposição, ou seja, a porcentagem dos que escolheram a resposta que a ciência moderna aponta como correta. Na amostra da Islândia, 85% das pessoas pensam, como os cientistas, que os humanos evoluíram de outras espécies. Parcos 27% da população da Turquia têm essa visão. A Turquia é o único país na tabela onde parece haver uma maioria que julga que a evolução é falsa. A Grã-Bretanha ficou em quinto lugar, com 13% negando ativamente a evolução. Os Estados Unidos não entraram na pesquisa europeia, mas o deplorável fato de que os americanos ficam só um pouco à frente da Turquia em tais questões ganhou grande publicidade ultimamente.

Mais estranhos são os resultados mostrados na Tabela 2, que indica as porcentagens equivalentes para a proposição "Os primeiros humanos viveram na mesma época que os dinossauros". Também neste caso ordenei os países segundo a porcentagem dos que assinalaram a resposta correta, "falso". Novamente a Turquia fica em último lugar, com nada menos que 42% dos entrevistados pensando que os primeiros humanos coexistiram com os dinossauros e apenas 30% dispostos a negar a proposição, em contraste com 87% dos suecos. A Grã-Bretanha, sinto dizer, classifica-se na metade inferior: 28% de nós, pelo visto, adquiriram seus conhecimentos científicos e históricos assistindo a Os Flintstones em vez de

recebê-los de alguma fonte educacional.

TABELA 1: RESPOSTAS À PROPOSIÇÃO "OS SERES HUMANOS, COMO HOJE OS CONHECEMOS, DESENVOLVERAM-SE A PARTIR DE ESPÉCIES DE ANIMAIS MAIS ANTIGAS"

País	Total	Verdadeiro (%)	Falso (%)	Não sabe (%)
Islândia	500	85	7	8
Dinamarca	1013	83	13	4
Suécia	1023	82	13	5
França	1021	80	12	8
Grã-Bretanha	1307	79	13	8
Bélgica	1024	74	21	5
Noruega	976	74	18	8
Espanha	1036	73	16	11
Alemanha	1507	69	23	8
Itália	1006	69	20	11
Luxemburgo	518	68	23	10
Holanda	1005	68	23	9
Irlanda	1008	67	21	12
Hungria	1000	67	21	12
Eslovênia	1060	67	25	8
Finlândia	1006	66	27	7
República Tcheca	1037	66	27	7
Portugal	1009	64	21	15
Estônia	1000	64	19	17
Malta	500	63	25	13
Suíça	1000	62	28	10
Eslováquia	1241	60	29	12
Polônia	999	59	27	14
Croácia	1000	58	28	15
Áustria	1034	57	28	15
Grécia	1000	55	32	14
Romênia	1005	55	25	20
Bulgária	1008	50	21	29
Letônia	1034	49	27	24
Lituânia	1003	49	30	21
Chipre	504	46	36	18
Turquia	1005	27	51	22

Fonte: Eurobarometer, 2005.

Como educador da área de biologia, consolo-me pateticamente com outro resultado do levantamento do Eurobarometer, segundo o qual uma grande parcela das pessoas (19% na Grã-Bretanha) acredita que a Terra leva um mês para

dar a volta em torno do Sol. Na Irlanda, Áustria, Espanha e Dinamarca as porcentagens são superiores a 20%. Eu me pergunto: o que essas pessoas pensam que é um ano? Por que as estações do ano vêm e vão com regularidade? Não sentem pelo menos alguma curiosidade sobre as razões de uma característica tão notável de seu mundo? É claro que essas porcentagens impressionantes não devem ser consoladoras coisa nenhuma. Minha ênfase foi em "pateticamente". Eu quis dizer que, pelo visto, estamos lidando com uma ignorância geral da ciência — o que é péssimo, mas ao menos é melhor do que um preconceito decidido contra uma ciência específica, a ciência evolucionária, preconceito este que parece estar presente na Turquia (e, é inevitável supor, em boa parte do mundo islâmico). E também, inegavelmente, nos Estados Unidos da América, como vimos nas pesquisas do Gallup e do Pew.

Em outubro de 2008, um grupo de aproximadamente sessenta professores do ensino médio americano reuniu-se no Centro para a Educação em Ciência da Universidade Emory, em Atlanta. Algumas das histórias de horror que eles relataram merecem ampla atenção. Um professor mencionou que alunos "desataram a chorar" quando souberam que iriam estudar a evolução. Outro professor contou que alunos gritavam repetidamente "Não!" quando ele começava a falar sobre evolução em aula. Outro disse que os alunos perguntaram por que, afinal, tinham de aprender sobre a evolução, já que se trata "apenas

de uma teoria". Outro ainda declarou que "igrejas treinam estudantes para levarem à escola questões específicas e sabotar as minhas aulas". O Museu da Criação, em Kentucky, é uma instituição generosamente financiada, dedicada integralmente à negação da história nessa escala avançada. Lá as crianças podem cavalgar em um modelo de dinossauro equipado com sela, e não se trata apenas de diversão: a mensagem, explícita e inequívoca, é que os dinossauros viveram recentemente e coexistiram com humanos. O museu é dirigido pela Answers in Gênesis, uma organização isenta de impostos. O contribuinte, neste caso o contribuinte americano, está subsidiando falsidade científica, deseducação em grande escala.

Tais experiências são corriqueiras em todo o território americano, mas lambem, detesto ter de admitir, estão se tornando comuns na Grã-Bretanha. Hm fevereiro de 2006 o Guardian noticiou: "Alunos de medicina muçulmanos em Londres distribuíram panfletos que descartam como falsas as teorias de Darwin. Estudantes cristãos evangélicos também refutam com veemência crescente a idéia da evolução". Os panfletos muçulmanos foram produzidos pelo Al-Nasr Trust, uma associação beneficente registrada, isenta de impostos. Portanto, também o contribuinte britânico está subsidiando a distribuição sistemática de crassas e graves falsidades científicas a instituições educacionais britânicas.

Em 2006 o jornal Independent citou o professor

Steve Jones, do University College em Londres:

TABELA 2: RESPOSTAS À PROPOSIÇÃO "OS PRIMEIROS HUMANOS VIVERAM NA MESMA ÉPOCA QUE OS DINOSSAUROS"

País	Total	Verdadeiro (%)	Falso (%)	Não sabe (%)
Suécia	1023	9	87	4
Alemanha	1507	11	80	9
Dinamarca	1013	14	79	6
Suíça	1000	9	79	12
Noruega	976	13	79	7
República Tcheca	1037	15	78	7
Luxemburgo	518	15	77	9
Holanda	1005	14	75	10
Finlândia	1006	21	73	7
Islândia	500	12	72	16
Eslovênia	1060	20	71	9
Bélgica	1024	24	70	6
França	1021	21	70	9
Áustria	1034	15	69	15
Hungria	1000	18	69	13
Estônia	1000	20	66	14
Eslováquia	1241	18	65	18
Grã-Bretanha	1307	28	64	8
Croácia	1000	23	60	17
Lituânia	1003	23	58	19
Espanha	1036	29	56	15
Irlanda	1008	27	56	17
Itália	1006	32	55	13
Portugal	1009	27	53	21
Polônia	999	33	53	14
Letônia	1034	27	51	21
Grécia	1000	29	50	21
Malta	500	29	48	24
Bulgária	1008	17	45	39
Romênia	1005	21	42	37
Chipre	504	32	40	28
Turquia	1005	42	30	28

Fonte: Eurobarometer, 2005.

É uma verdadeira mudança social. Há anos sensibilizo-me com o problema dos meus colegas americanos, obrigados a limpar o criacionismo da mente de seus alunos nas primeiras conferências de biologia que proferem. Na Grã-Bretanha não tínhamos de enfrentar isso. Agora alunos muçulmanos vêm me dizer que são obrigados a crer no criacionismo porque faz parte de sua identidade islâmica. Mas o que mais me surpreende são os outros jovens britânicos que veem o criacionismo como uma alternativa viável à evolução. Isso é inquietante. Mostra o quanto a idéia é contagiosa.

As pesquisas, portanto, indicam que no mínimo 40% dos americanos são criacionistas — criacionistas ferrenhos, inflexíveis, antievolução, e não do tipo dos que acreditam na evolução "mas com uma ajudazinha de Deus" (também há uma profusão desses). As porcentagens respectivas na Grã-Bretanha, assim como em boa parte da Europa, são um pouco menos extremas, porém não muito mais alentadoras. Ainda não temos razões para nos despreocupar.